

**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky**

**Zdroj energie pro obytný dům na bázi palivočlánkové  
mikrokogenerační jednotky**

**Energy source for residential building on the basis of fuel cell  
micro CHP unit**

**2016**

**Bc. Karel Štrbík**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Karel Štrbík**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: **Zdroj energie pro obytnou budovu na bázi palivočlámkové  
mikrokogenerační jednotky**  
**Energy source for residential building on the basis of fuel cell micro  
CHP unit**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor funkce palivových článků dle použité technologie
2. Kogenerační jednotky na bázi vodíkových palivových článků
3. Energetická bilance zvolené obytné budovy
4. Návrh systému s palivočlámkovou mikrokogenerační jednotkou pro pokrytí spotřeby elektřiny a tepla
5. Ekonomické zhodnocení, návratnost investice do navrženého kogeneračního systému

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Prospects for hydrogen and fuel cells, OECD/IEA, 2005.
2. Sokanský, K.: Palivové články v energetice, Ostrava, 2007.
3. Tuček, V., Dvořáková, L., Hanzal, J.: Vodík, Česká asociace technických plynů, Praha, 2004.
4. Dufka, J.: Vytápění netradičními zdroji tepla, BEN - technická literatura, Praha, 2003.
5. Dufka J.: Vytápění domů a bytů, Grada Publishing, 2.vydání, Praha, 2004.
6. Navrátilová, J. M.: Kombinovaný systém vytápění a ohřevu teplé vody pro rodinný dům, Diplomová práce, Ostrava, 2010.
7. Smoček, M.: Návrh vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem, Diplomová práce, Ostrava, 2011.
8. Rastočný, J.: Solární systémy pro obytné domy, Diplomová práce, Ostrava, 2013
9. Židek, J.: Palivové články pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla, Bakalářská práce, Ostrava, 2010
10. Mrozek, D.: Návrh komplexního řešení palivového hospodářství (H2), pro palivový článek typu PEMFC o výkonu 5 kW (resp. 5 x 1 kW) v laboratoři VŠB-TUO, Bakalářská práce, Ostrava, 2005.
11. Vitovál 300-P: palivočlámková mikrokogenerační jednotka pro obytné domy na evropském trhu [online], <http://www.proelektrotechniky.cz/inteligentni-budovy/28.php>
12. Vodíkové technologie [online], <http://www.hytec.cz/>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

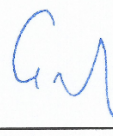
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Moldřík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry




  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne 27.4.2016..

Podpis studenta .....

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Petru Moldříkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

## **Abstrakt**

Tématem této diplomové práce je zpracovat přehled mikrokogeneračních jednotek na bázi palivových článků a jejich využití v obytných domech.

První část diplomové práce popisuje základní typy palivových článků a rozbor jednotlivých druhů. Druhá část se zaměřuje na přehled mikrokogeneračních jednotek na bázi palivových článků. Třetí část řeší výpočet energetické bilance rodinného domu. Čtvrtá část pojednává o návrhu a zapojení kogenerační jednotky Vitovvalor-300P do rodinného domu. Poslední část je věnována ekonomickému zhodnocení a návratnosti investic, pokud by byla kogenerační jednotka instalována do rodinného domu.

## **Klíčová slova**

Kogenerace, palivový článek, Viessmann, Vitovvalor, Galileo, BlueGen, EnGen, Logapower, energetická bilance, kotel, ekonomické zhodnocení, investiční náklady, energie, elektřina, ohřev

## **Abstract**

The theme of this thesis is to prepare an overview of micro-cogeneration units based on fuel cells and their applications in residential homes.

The first part describes the main types of fuel cells and analysis of individual species. The second part is focused on the overview of micro CHP units based on fuel cells. The third part solves the calculation of the energy balance of the house. The fourth part deals with the design and wiring cogeneration units Vitovalor-300P in the house. The last section is devoted to economic evaluation and return on investment if the CHP unit will be installed in the house.

## **Key words**

Cogeneration, fuel cell, Viessmann, Vitovalor, Galileo, BlueGen, EnGen, Logapower, energetic balance, boiler, economic evaluation, capital cost, energy, electricity, warming

## Obsah

1	Úvod.....	- 11 -
2	Teoretický úvod do palivových článků .....	- 12 -
3	Základní typy palivových článků .....	- 13 -
3.1	Nízko teplotní palivové články .....	- 13 -
3.1.1	Alkalické palivové články (AFC).....	- 13 -
3.1.2	Palivové články s elektrolytem na bázi kyseliny fosforečné (PAFC).....	- 15 -
3.1.3	Palivové články s polymerní elektrolytickou membránou (PEM FC).....	- 17 -
3.1.4	Palivové články s přímým zpracováním metanolu (DMFC).....	- 18 -
3.2	Středněteplotní palivové články .....	- 20 -
3.2.1	Palivové články s pevným elektrolytem (Intermediate Temperature SOFC) ..	- 20 -
3.3	Vysokoteplotní palivové články .....	- 20 -
3.3.1	Palivový článek na bázi tekutých uhličitánů (MCFC).....	- 20 -
3.4	Palivový článek s elektrolytem na bázi pevných oxidů (SOFC).....	- 24 -
4	Kogenerační jednotky na bázi vodíkových palivových článků.....	- 30 -
4.1	MKJ Galileo 1000 N .....	- 30 -
4.2	MKJ BlueGen™ .....	- 31 -
4.3	MKJ EnGen™ -2500.....	- 32 -
4.4	MKJ Logapower FC10.....	- 33 -
4.5	MKJ Vitovalor 300-P .....	- 34 -
5	Energetická bilance rodinného domu .....	- 36 -
5.1	Popis zvoleného objektu.....	- 36 -
5.2	Sestavení energetické bilance domu .....	- 37 -
5.3	Energie pro vytápění .....	- 38 -
5.3.1	Tepelné ztráty.....	- 38 -
5.3.2	Tepelné zisky .....	- 39 -
5.3.3	Určení množství tepla na vytápění .....	- 40 -
5.3.4	Výpočet tepelných ztrát zvoleného domu .....	- 41 -
5.3.5	Výpočet potřeby tepla na vytápění zvolného domu .....	- 48 -
5.4	Energie potřebná pro přípravu TUV .....	- 51 -
5.5	El. energie pro osvětlení a el. spotřebiče .....	- 53 -
5.6	Celková energie spotřebovaná řešeným domem.....	- 53 -

6	Návrh systému s palivočláčkovou mikrokogenerační jednotkou pro pokrytí elektřiny a tepla	- 54 -
6.1	Způsob zapojení mikrokogenerační jednotky pro ohřev TUV a přitápění	- 54 -
6.2	Způsob zapojení mikrokogenerační jednotky v řešeném domě	- 55 -
7	Ekonomické zhodnocení	- 57 -
7.1	Ekonomická náročnost původního stavu domu	- 57 -
7.1.1	Roční náklady na provoz el. bojleru:	- 57 -
7.1.2	Roční náklady za elektrickou energii spotřebovanou el. spotřebiči a svídkly	- 59 -
7.1.3	Roční náklady na provoz kotle na tuhé palivo:	- 59 -
7.2	Ekonomická náročnost domu po instalaci kogenerační jednotky	- 60 -
7.2.1	Roční náklady na výrobu TUV, elektřiny a přitápění s kogenerační jednotkou	- 60 -
7.3	Celkové ekonomické zhodnocení	- 63 -
8	Závěr	- 66 -
	Použitá literatura	- 67 -
	Seznam obrázků	- 69 -
	Seznam tabulek	- 70 -
	Seznam příloh	- 71 -
	Přílohy	I



## Seznam některých zkratk a symbolů

Zkratka	Jednotka	Význam
$\Delta U$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	Korekční součinitel přestupu tepla
$\Delta U_{tbn}$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	Průměrný vliv teplených vazeb mezi ochlazovanými konstrukcemi
$A$	$[m^2]$	Plocha
$A_E$	$[m^2]$	Energeticky vztažná plocha
$A_j$	$[m^2]$	Plocha j-té ochlazované konstrukce
$A_o$	$[m^2]$	Plocha otvoru
$A_p$	$[m^2]$	Plocha místnosti
$A_R$	$[m^2]$	Plocha rámu
$A_{sjn}$	$[m^2]$	Solární účinná osluněná plocha povrchu s orientací $j$
$A_{sol}$	$[m^2]$	Účinná solární plocha zasklení
$b$	$[W]$	Zmenšující faktor
$b_j$	$[-]$	Činitel teplotní redukce j-té konstrukce
$d$	$[-]$	Počet dní otopného období
$d_m$	$[m^2]$	Tloušťka daného materiálu
$el.$	$[-]$	Elektrická/ý
$G_m$	$[kWh/m^2]$	Celková měsíční energie globálního slunečního záření v dané lokalitě
$H$	$[W/K]$	Měrná tepelná ztráta budovy
$h$	$[m]$	Výška
$H_T$	$[W/K]$	Měrná tepelná ztráta prostupem tepla
$H_V$	$[W/K]$	Měrná tepelná ztráta větráním
$I_{sj}$	$[J/m^2]$	Celková energie globálního záření dopadajícího na jednotku plochy s orientací $j$
$n_p$	$[l/h]$	Intenzita výměny vzduchu
$Q_t$	$[J]$	Celková ztráta budovy
$Q_1$	$[J]$	Tepelná ztráta za jeden měsíc
$Q_g$	$[J]$	Celkové tepelné zisky
$Q_g$	$[J]$	Tepelný zisk za jeden měsíc
$Q_h$	$[J]$	Potřeba tepla na vytápění za jeden měsíc
$Q_h$	$[kWh]$	Roční spotřeba tepla
$Q_{hRok}$	$[kWh]$	Celková potřeba tepla za rok
$Q_i$	$[J]$	Vnitřní tepelný zisk
$Q_{max}$	$[W]$	Maximální ztráta budovy
$Q_{r.vyp}$	$[J \cdot r^{-1}]$	Potřebné teplo za rok
$Q_s$	$[J]$	Solární tepelný zisk
$Q_T$	$[kWh]$	Tepelná ztráta prostupem
$Q_{TUV,r}$	$[kWh/rok]$	Celková roční potřeba energie na ohřev teplé vody
$Q_v$	$[kWh]$	Tepelná ztráta větráním
$R$	$[(m^2 \cdot K)/W]$	Odpor konstrukce
$R_{se}$	$[(m^2 \cdot K)/W]$	Odpor při přestupu tepla na vnější straně
$R_{se}$	$[(m^2 \cdot K)/W]$	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce
$R_{si}$	$[(m^2 \cdot K)/W]$	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně
$R_{si}$	$[(m^2 \cdot K)/W]$	Odpor při prostupu tepla na vnitřní straně konstrukce
$R_v$	$[(m^2 \cdot K)/W]$	Tepelný odpor konstrukce

## Seznam některých zkratk a symbolů

---

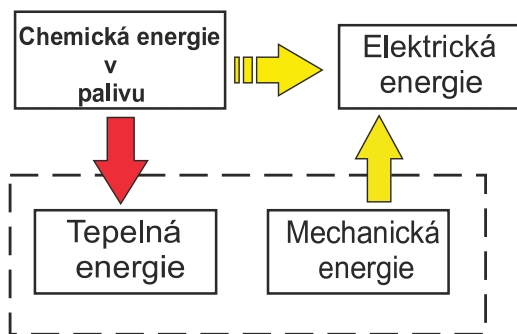
<b>t</b>	[s]	Délka výpočtového období
<b>t<sub>e</sub></b>	[°C]	Teplota exteriéru
<b>t<sub>i</sub></b>	[°C]	Teplota interiéru
<b>TUV</b>	[-]	Teplá užitková voda
<b>tzv.</b>	[-]	Takzvaně
<b>U</b>	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Součinitel prostupu tepla
<b>U<sub>j</sub></b>	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Součinitel prostupu tepla j-té konstrukce
<b>V<sub>i</sub></b>	[m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ]	Objemový tok vzduchu
<b>V<sub>i</sub></b>	[m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ]	Objemový tok vzduchu
<b>V<sub>mi</sub></b>	[m <sup>3</sup> ]	Celkový objem místnosti
<b>V<sub>np</sub></b>	[m <sup>3</sup> ]	Objem hygienické výměny vzduchu
<b>ε</b>	[-]	Opravný součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty infiltrací
<b>η</b>	[-]	Faktor využití
<b>η</b>	[-]	Účinnost využití tepelných zisků
<b>θ<sub>e</sub></b>	[°C]	Průměrná venkovní teplota
<b>θ<sub>e,pr</sub></b>	[°C]	Průměrná teplota venkovního vzduchu v topném období
<b>Θ<sub>em</sub></b>	[°C]	Průměrná teplota
<b>θ<sub>i</sub></b>	[°C]	Vnitřní požadovaná teplota
<b>λ</b>	[W/(m·K)]	Součinitel tepelné vodivosti
<b>Φ<sub>cm</sub></b>	[W]	Celková tepelná ztráta prostupem a větráním
<b>Φ<sub>ih</sub></b>	[W]	Průměrná energie vnitřních tepelných zisků ve vytápěném prostoru
<b>Φ<sub>iu</sub></b>	[W]	Průměrná energie vnitřních tepelných zisků v nevytápěném prostoru
<b>Φ<sub>iu</sub></b>	[W]	Průměrná energie vnitřních tepelných zisků
<b>Φ<sub>Tm</sub></b>	[W]	Tepelné ztráty prostupem
<b>Φ<sub>Vm</sub></b>	[W]	Tepelné ztráty větráním

# 1 Úvod

Pokud chce lidstvo zachovat svou existenci a dále pokračovat v technickém rozvoji ve všech oblastech lidské činnosti, musí mít také dostatečné energetické zdroje. V dnešní době se na produkci elektrické i tepelné energie podílejí hlavně teplárny na fosilní paliva. Tyto zdroje jsou však vyčerpitelné a produkuje se jimi i množství emisí, proto nastala potřeba využívání alternativních zdrojů energie. Do podvědomí odborné ale i laické veřejnosti se začínají dostávat palivové články. Palivový článek je čistá technologie, která dosahuje vysokých účinností, a proto vidíme v palivovém článku v blízké budoucnosti velký potenciál a možnost uplatnění.

## 2 Teoretický úvod do palivových článků

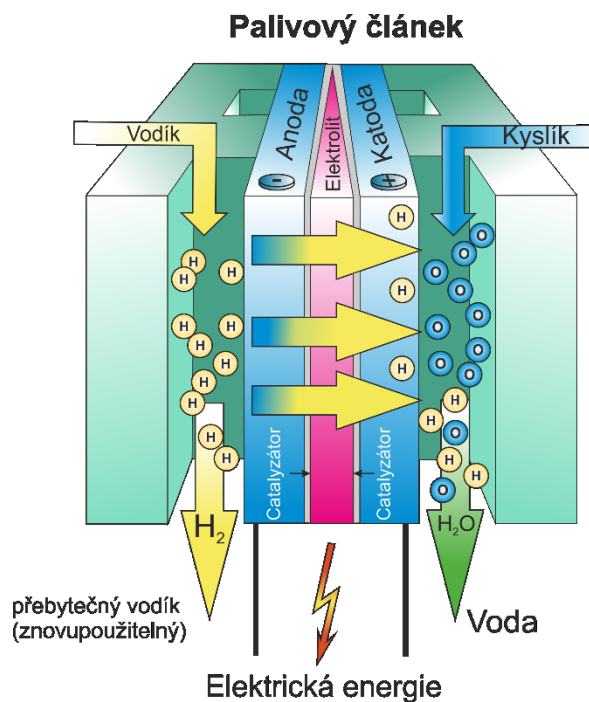
Palivový článek je elektrochemické zařízení, které pomocí oxidačně-redukční reakce mění chemickou energii paliva na elektrickou energii. Tato přeměna se děje katalytickými reakcemi na elektrodách a je v podstatě založena na převráceném principu elektrolýzy vody. V palivových článcích se sloučení vodíku a kyslíku uvolňuje energie a přeměňuje se na elektrický proud, přičemž na konci procesu vzniká voda. Vedlejším produktem reakce je teplo.



Obr. 1 – Transformace energie

Konstrukčně a funkčně je palivový článek porovnatelný s galvanickým článkem, avšak existuje mezi nimi jeden zásadní rozdíl. Ten spočívá ve skutečnosti, že v případě palivového článku aktivní chemické látky nejsou součástí elektrod, ale jsou k nim kontinuálně dodávány. Elektrody jsou v procesu použité výhradně jako katalyzátor chemických reakcí, během chemických přeměn se téměř neopotřebovávají a jejich chemické složení se nemění. Pokud se do palivového článku trvale přivádí potřebné aktivní látky, může pracovat bez časového omezení. Palivový článek se při dodržení těchto zásad nevybíjí. [1]

Základem palivového článku je ANODA, KATODA a IONTOMĚNICOVÁ membrána nebo ELEKTROLIT, který vykazuje protonovou vodivost. Palivo, mezi které se řadí vodík, methan, metanol, kyselina octová aj. se přivádí na anodu, zde zoxiduje (rozkládá se) na kationty, kladné ionty a volné elektrony. Ke katodě je přiváděno oxidační činidlo (kyslík, peroxid vodíku, hiokyanát draselný aj.), které jde zde redukováno. Elektrody jsou zhotoveny z různých kovů, často se používá i katalyzátoru (např. vrstvičky platiny nebo palladia), což sice zlepšuje účinnost, ale také prodlužuje články. Volné elektrony „tečou“ přes spotřebič ke katodě (vykonávají práci). U varianty článku,  $H$ ,  $O_2$ , vzniká při reakci voda. Nabíjení je pak proces opačný, prakticky elektrolýza. Napětí jednoho článku je v rozmezí 0,5-0,95 V, v ideálním případě 1,23 V. Záleží na použitých materiálech elektrod, elektrolytu, palivu a v neposlední řadě zatížení. [2]



Obr. 2 – Palivový článek  $H_2/O_2$

### 3 Základní typy palivových článků

Palivové články rozdělujeme do 6 hlavních typů. Tyto typy se řadí do třech kategorií:

- **Nízkoteplotní palivové články**
  - Alkalické palivové články (AFC – Alkaline Fuel Cell)
  - PČ s elektrolytem na bázi kyseliny fosforečné (PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cells)
  - PČ s protonovou membránou (PEM FC – Proton Exchange Membrane Fuel Cells)
  - PČ s přímým zpracováním metanolu (DMFC – Direct Methanol Fuel Cells)
- **Středněteplotní palivové články**
  - PČ s pevným elektrolytem
- **Vysokoteplotní palivové články**
  - PČ s elektrolytem na bázi tekutých uhličitů (MCFC – Molten Carbonate Fuel Cells)
  - PČ s elektrolytem na bázi pevných oxidů (SOFC – Solid Oxide Fuel Cell)

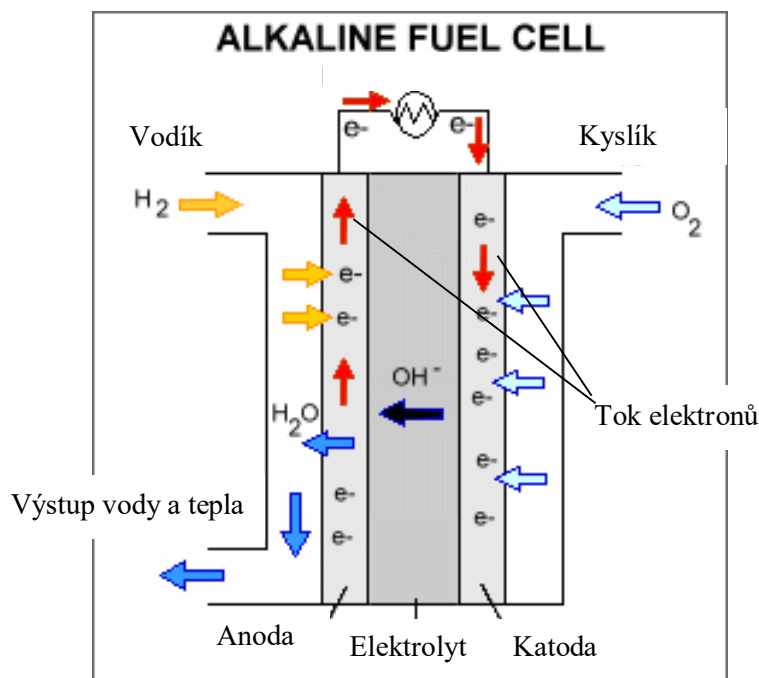
#### 3.1 Nízko teplotní palivové články

Tyto články pracují obvykle s teplotami nižšími než 250°C (480°F). Takto nízké teploty neumožňují vnitřní reforming paliva, v důsledku čehož vyžadují nízkoteplotní články vnější zdroj vodíku. Na druhou stranu, vykazují rychlý rozběh zařízení a trpí menší poruchovostí. Jsou tedy spolehlivější a vhodnější pro mobilní zařízení. [3]

##### 3.1.1 Alkalické palivové články (AFC)

Jedná se o první moderní palivový článek s alkalickým elektrolytem. Výhodou článku je vynikající výkon při srovnání s ostatními typy v důsledku aktivní kyslíkové kinetiky a širokému rozsahu možných katalyzátorů. Alkalické palivové články pracují s elektrolytem, jenž je schopný vést hydroxidové ionty (OH) od katody k anodě. Elektrolytem je obvykle vodní roztok roztavené alkalické směsi hydroxidu draselného (KOH).

Elektrolyt může být jak pohyblivý tak i pevný (statický, nepohyblivý). Elektrolytem AFC je 85% KOH pro palivové články pracující s teplotami v okolí 260°C a 35 – 50 % KOH pro nižší provozní teploty (<120 °C). KOH je upřednostňován před ostatními alkalickými hydroxidy v důsledku vysoké iontové vodivosti. Je možné využít široké množství katalyzátorů (nikl, drahé kovy, stříbro, oxidy kovů). [3]



Obr. 3 – Alkalický palivový článek (AFC)

Palivový článek s pohyblivým alkalickým elektrolytem využívá tekutého elektrolytu, jenž plynule obíhá mezi elektrodami. Produkovaná voda a odpadní teplo ohřívají tekutý elektrolyt a postupně s jeho obíháním odváděny z článku.

Palivové články s nepohyblivým elektrolytem používají elektrolyt, který se skládá z tuhé hmoty, jež je udržována pohromadě pomocí kapilárních sil uvnitř porézní podpůrné krystalické mřížky, která je tvořena například azbestem. Hmota samotná zajišťuje těsnění proti úniku plynů na okraji článku. Produkovaná voda se odpařuje do proudu zdrojového vodíkového plynu na straně anody, kde současně dochází k její kondenzaci. Odpadní teplo je odváděno přes obíhající chladiivo

Alkalické palivové články pracují s teplotami od 65 do 260 °C (od 150 do 430 °F) a s tlakou okolo 1 baru relativního (15 psig). Účinnost AFC při použití čistého vodíku je kolem 60 %. [3]

Tab. 1 – Výhody a nevýhody alkalických článků (AFC)

Výhody a nevýhody alkalických článků (AFC)	
Výhody AFC článků	Nevýhody AFC článků
Nízká provozní teplota, rychlé startovací časy	Náročné na obsah oxidu uhličitého $CO_2$
Relativně jednoduchý provoz	Náročné na obsah oxidu uhelnatého CO
Mají vysokou účinnost	Krátká životnost
Malou hmotnost a objem	Požadují složitý systém vodního hospodářství
Potřebují minimální množství platinového katalyzátoru	Tekutý elektrolyt s čímž souvisí problémy s manipulací článků
Minimální koroze konstrukčních materiálů	

### Reakce:

Alkalické palivové články musí pracovat pouze s čistým vodíkem bez příměsí oxidů uhlíku.

Reakce odehrávající se na anodě:



Reakce odehrávající se na katodě:



Hydroxidové ionty  $\text{OH}^-$  procházejí elektrolytem od anody ke katodě vlivem chemické přitažlivosti mezi vodíkem a kyslíkem, zatímco elektrony jsou nuceny obíhat vnějším elektrickým obvodem od anody ke katodě.

Sloučením anodových a katodových reakcí můžeme napsat celkové reakce pro alkalický palivový článek:



Alkalický palivový článek produkuje vodu, jež se odpařuje do proudu vstupujícího vodíku (v případě systémů s nepohyblivým elektrolytem) či je odváděna z palivového článku s elektrolytem (u systémů s pohyblivým elektrolytem). Pro zachování kvality reakce musí být tato voda z článku odváděna. Jako okysličovadlo se používá čistý  $\text{O}_2$  nebo vzduch, ze kterého je nutné odstranit  $\text{CO}_2$ , který by reagoval s  $\text{KOH}$  na  $\text{K}_2\text{CO}_3$  a znehodnocoval elektrolyt). Palivem bývá čistý  $\text{KOH}$ . [3]

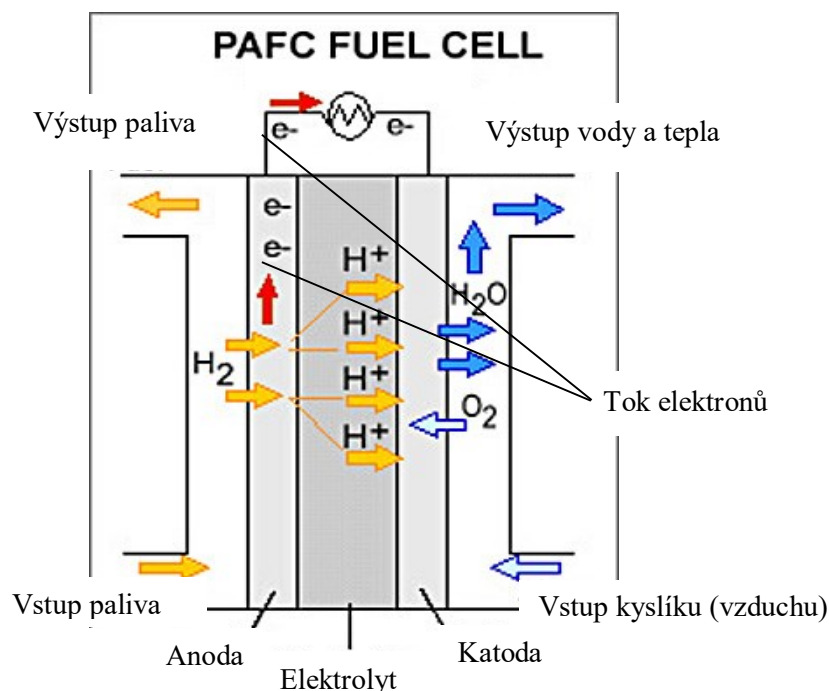
### 3.1.2 Palivové články s elektrolytem na bázi kyseliny fosforečné (PAFC)

Palivové články s elektrolytem na bázi kyseliny fosforečné (PAFC) umožňují vést elektrolytem vodíkové ionty (protony)  $\text{H}^+$  od anody směrem ke katodě. Jak vyplývá z jejich názvu, elektrolyt je složen z tekuté kyseliny fosforečné nacházející se uvnitř krystalické mřížky tvořené karbidem křemíku (některé palivové články s elektrolytem na bázi kyselin používají jako elektrolyt kyselinu sírovou).

PAFC články pracují při teplotách od 150 do 210 °C (od 300 do 410 °F) s tlakem okolo 1 baru relativního (15 psig).

Chladivo, které může být buď kapalné (obvykle voda) nebo plynné (vzduch), je vedeno chladicími kanálky umístěnými v každém pátem článku souboru. Systém chlazení je sice podstatně složitější, ale lépe odvádí teplo. Přednost chlazení plynem je v jeho jednoduchosti, spolehlivosti a nízké ceně [3]

Palivové články s kyselinou fosforečnou byly první komerčně využívaným typem. Jeho největší nevýhodou je pomalý start, protože je nutné jeho zahřátí na pracovní teplotu. Z toho důvodu není vhodný pro mobilní zařízení.



Obr. 4 – Palivový článek na bázi kyseliny fosforečné (PAFC)

Tab. 2 – Výhody a nevýhody palivových článků (PAFC)

Výhody a nevýhody palivových článků (PAFC)	
Výhody PAFC článků	Nevýhody PAFC článků
Odolnost proti vysokému obsahu CO <sub>2</sub> v palivu (až 30%)	Snáší pouze 2% obsahu CO v palivu
Nevyžaduje čištění paliva	Před startem je nutný předehřev
Stálý elektrolyt	Mají velkou hmotnost a rozměry
Pracují při nízkých teplotách avšak vyšší provozní teplota než u ostatních nízko teplotních palivových článků. (Toto teplo se využívá v kogeneračních aplikacích)	Citlivost na síru v palivu (obsah by neměl přesáhnout 50ppm)
	Využívají korozivní tekutý elektrolyt (postupné odpařování elektrolytu v průběhu života článku)

#### Reakce:

U PAFC článků reaguje vodík s kyslíkem.

Reakci na anodě můžeme popsat následovně:



Reakci probíhající na katodě potom:





Proton vodíku prochází elektrolytem od anody směrem ke katodě na základě přitažlivosti mezi vodíkem a kyslíkem, zatímco elektrony jsou nuceny procházet vnějším elektrickým obvodem.

Sloučením anodové a katodové reakce získáme obecnou reakci pro článek, kterou můžeme popsat:

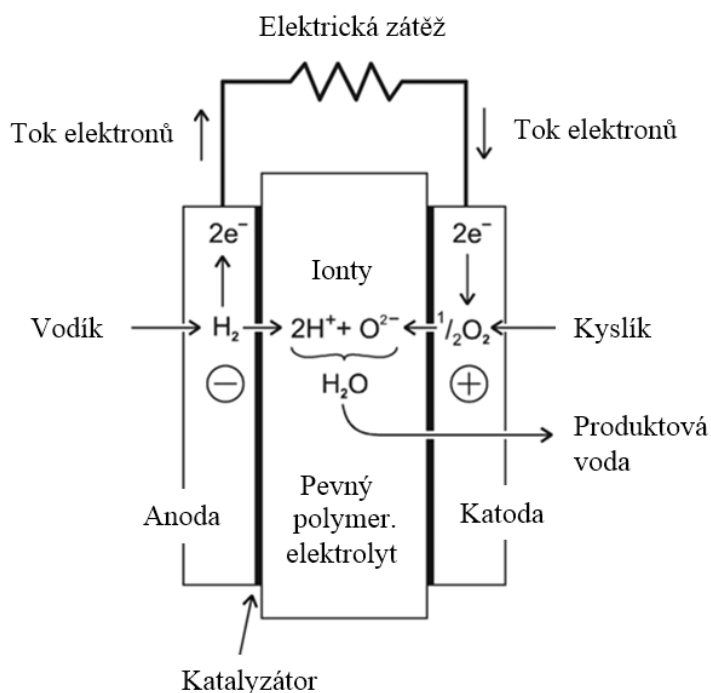


PAFC články tedy produkují vodu, která se hromadí na katodě. Abychom zajistili dostatečnou kvalitu reakce, musí být produktová voda postupně odváděna z palivového článku. [3]

### 3.1.3 Palivové články s polymerní elektrolytickou membránou (PEM FC)

Palivové články s polymerní elektrolytickou membránou se vyznačují vysokou proudovou vodivostí, což umožňuje konstrukci s nízkou hmotností a rozměry a předurčuje tyto palivové články pro mobilní aplikace. PEM palivové články (nebo též články s pevným polymerem) používají elektrolyt, jenž je schopen vést protony  $\text{H}^+$  od anody ke katodě. Elektrolytem je obvykle perfluorovaný polymer kyseliny sulfonové tloušťky 200  $\mu\text{m}$  vložený mezi dvě elektrody impregnované katalyzátorem, obvykle platinou s vrstvou tloušťky obvykle desítky  $\mu\text{m}$ . Platina je vhodná, neboť je dostatečně reaktivní při vázání se na H a O meziprodukty, jak je požadováno pro elektrochemický proces na elektrodách, a je zároveň schopná účinně uvolňovat meziprodukty při tvorbě výsledné sloučeniny. Vnější strana elektrod je vodou nesmáčivá (hydrofobní), což je zajištěno vrstvou vhodné látky, např. polytetrafluoretylenu (PTFE, teflon).

Protože PEMFC pracuje při nízkých teplotách, je schopen rychleji najíždět do provozu a rychle reagovat na změnu výkonu. Tento typ článku je vhodný pro pohon vozidel. Pro provoz těchto článků je nutné zajistit vysoký obsah vody v elektrolytu, proto se voda nesmí odpařovat rychleji, než voda vzniklá. Kdyby nastal opačný případ, začala by prudce klesat vodivost membrány, abychom předešli takovému stavu, neměla by teplota přesáhnout 100° C. Články mohou pracovat i nad 100° C, ale musí zvýšit tlak tak, aby se voda nevařila, tím se však snižuje životnost článků. Účinnost PEMFC se pohybuje okolo 50-60%.



Obr. 5 – Palivový článek s polymerní elektrolytickou membránou (PEMFC)

Tab. 3 – Výhody a nevýhody palivových článků (PEMFC)

Výhody a nevýhody palivových článků (PEMFC)	
Výhody PEMFC článků	Nevýhody PEMFC článků
Odolnost proti vysokému obsahu CO <sub>2</sub> v okysličovadle i palivu	Citlivý na CO a S v palivu
Nízká provozní teplota	Používá drahé platinové katalyzátory
Rychlý start	Požívá drahé membrány
Elektrolyt není citlivý na korozi	Vyžadují zvlhčování reakčního plynu
Mají vysoké napětí, vysokou proudovou a energetickou hustotu	
Pracují při menších tlacích	
Jsou kompaktní a mechanicky odolné	
Konstrukčně jednoduché	

**Reakce:**

V palivových člancích typu PEM spolu reagují vodík a kyslík.

Reakci probíhající na anodě můžeme popsat následovně:



Pro reakci na katodě můžeme psát:



Proton H<sup>+</sup> prochází elektrolytem od anody ke katodě vlivem vzájemné přitažlivosti mezi vodíkem a kyslíkem, zatímco elektrony jsou nuceny k oběhu od anody ke katodě přes vnější elektrický obvod.

Sloučením reakcí na anodě a katodě získáme celkovou reakci pro PEMFC, jež můžeme zapsat:



PEM FC články produkují vodu, která se hromadí na katodě. Tato produktová voda musí být plynule odváděna z článku, aby byla zajištěna kvalita dalšího průběhu reakce. [3]

### 3.1.4 Palivové články s přímým zpracováním metanolu (DMFC)

Palivové články typu PEM mohou být také provozovány při náhradě vodíku metanolem. Ačkoliv energie uvolněná při této reakci je nižší než v případě použití čistého vodíku, systém uskladnění, přepravy a tankování paliva je mnohem jednodušší, čímž zároveň obcházíme potřebu výroby vodíku. Navíc objemová jednotka metanolu obsahuje větší množství energie, než objemová jednotka vodíku.

V palivových člancích typu PEM využívajících metanol jsou články zásobovány tekutou směsí metanolu a vody na straně anody a vzduchem na straně katody.

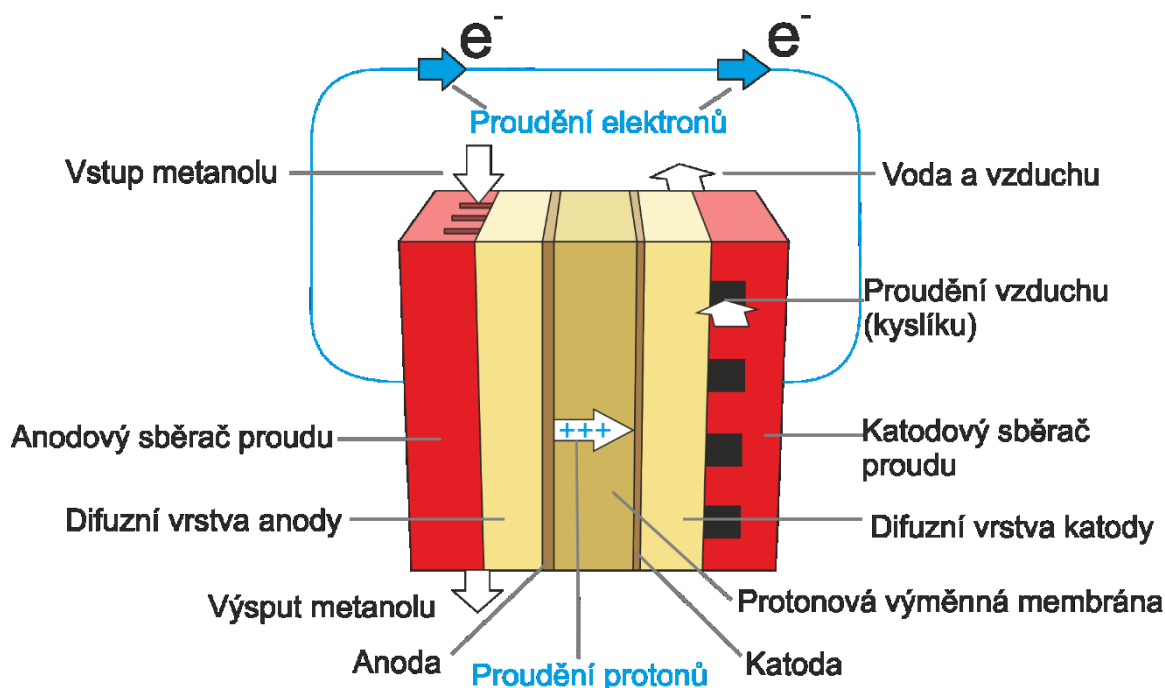
Na straně anody - při 130 °C (266 °F) katalyzátor z ušlechtilého kovu okamžitě rozkládá metanol dle následující reakce:



Na straně katody – vzdušný kyslík ionizuje a reaguje s vodíkem za vzniku vody:



Sloučením těchto dvou reakcí získáme výslednou reakci pro DMFC napájený metanolem:



Obr. 6 – Palivový článek s přímým zpracováním metanolu (DMFC)

Oxidace metanolu je však pomalejší než u vodíku, což je způsobeno tím, že k ní dochází přes několik reakčních mezistupňů. Při jednotlivých mezistupních vznikají skupiny COH, COOH, CO, které adsorbují na katalyzátor (platinová čerň, Pt) snadněji než vodík a blokují tak jeho další adsorpci. Z toho důvodu se přidává do anodové vrstvy katalyzátoru ruthenium (Ru), které napomáhá další oxidaci uhlikatých skupin na CO<sub>2</sub>, který jako plyn uniká z katalytické vrstvy. Nejvýhodnější poměr obou katalyzátorů byl u DMFC stanoven na Pt/Ru = 1:1. Na katodě je jako katalyzátor zachována platinová čerň. [3]

Hlavní výhodou metanolu oproti vodíku je jeho bezproblémové skladování a transport. V dnešní době jsou za nejslibnější články považovány právě články DMFC a PEMFC a to právě z možnosti využití v automobilové dopravě. [4]

## 3.2 Středněteplotní palivové články

### 3.2.1 Palivové články s pevným elektrolytem (Intermediate Temperature SOFC)

Středněteplotní palivové články s pevným elektrolytem (ITSOFC) pracují při teplotě (600 – 800) °C. Hlavní cíl snížení provozní teploty oproti SOFC sleduje především snížení výrobní ceny vlastního článku. Současně se výrazně snižuje teplotní ztráta do okolí (úměrná  $T^4$ ), teplotní namáhání i požadavky na systém tepelného hospodářství. Naproti tomu poněkud poklesne účinnost v důsledku horší reakční kinetiky. [4]

## 3.3 Vysokoteplotní palivové články

Vysokoteplotní palivové články pracují při teplotách vyšších než 600 °C (1 100°F). Tyto vysoké teploty umožňují samovolný vnitřní reforming lehkých uhlovodíkových paliv – jako je metan – na vodík a uhlík za přítomnosti vody. Reakce probíhající na anodě za podpory niklového katalyzátoru poskytuje dostatek tepla požadovaného pro proces parního reformingu.

Vnitřní reforming odstraňuje potřebu samostatného zařízení na zpracování paliva a umožňuje palivovému článku zpracovávat i jiná paliva než je čistý vodík. Tyto výhody vedou k nárůstu celkové účinnosti systému s palivovým článkem téměř o 15 %. Na druhou stranu, množství energie uvolněné při elektrochemické reakci klesá s rostoucí provozní teplotou článku. Vysokoteplotní palivové články produkují také vysokopotenciální odpadní teplo, jež může být použito pro účely kogenerace.

Vysokoteplotní palivové články reagují velmi jednoduše a účinně bez potřeby drahých katalyzátorů z ušlechtilých kovů, jakým je například platina.

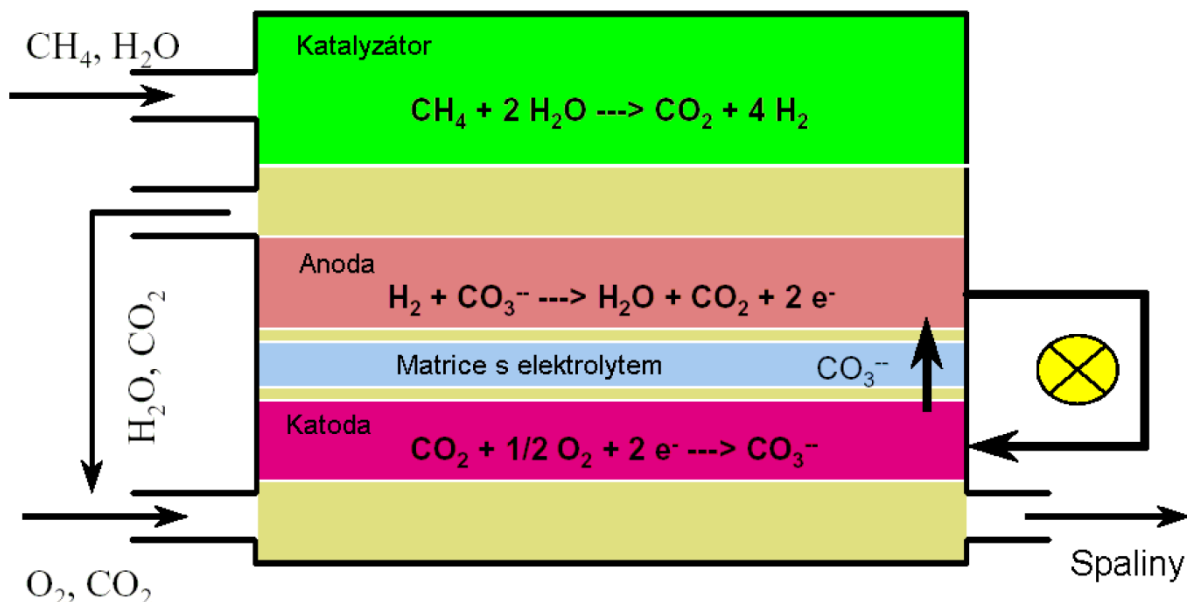
Vysokoteplotní palivové články však trpí některými materiálovými poruchami. Jen málo materiálů je schopno pracovat po dlouhou dobu bez degradace při vystavení vysokým teplotám. V důsledku vysokých provozních teplot nejsou vysokoteplotní palivové články schopné rychlého startu. Výsledkem je zaměření současných aplikací s vysokoteplotními palivovými články na stacionární elektrárenské zdroje, ve kterých účinnost vnitřního reformingu a výhody využití kogenerace převažují nad nevýhodami poruchovosti použitých materiálů a pomalých startů. [3]

### 3.3.1 Palivový článek na bázi tekutých uhličitánů (MCFC)

Palivové články s elektrolytem na bázi tekutých uhličitánů (s uhličitánovou taveninou) využívají elektrolytu, jenž je schopný vést uhličitánové ionty ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) od katody k anodě. To je opačný směr pohybu, oproti většině nízkoteplotních palivových článků, jež vedou vodíkové ionty od anody ke katodě

Typickým elektrolytem je tavenina obsahující 62 mol%  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  a 38 mol%  $\text{K}_2\text{CO}_3$  což jsou uhličitany lithia a draslíku. Tato směs je fixována za pomoci kapilárních sil v keramické podpůrné krystalické mřížce (matrici) hlinitanu lithia ( $\text{LiAlO}_2$ ). Ztráta ohmickým odporem je silně závislá na tloušťce vrstvy elektrolytu a proto se snaží výrobce tuto tloušťku zmenšit a zlepšit tím účinnost. Vyšší obsah lithia znamená vyšší iontovou vodivost a nižší ohmickou ztrátu, ale zároveň nižší difuzivitu a rozpustnost plynu a rychlejší korozi. Vysoká provozní teplota palivového článku způsobuje, že dochází ke změně struktury elektrolytu na pastu. Anoda bývá tvořena slitinami niklu (obvykle s Cr nebo Al) a katoda jeho oxidy ( $\text{NiO}$  s příměsí lithia). Hlavními problémy jsou stabilita struktury elektrod, spékání porézní Ni anody a rozpad  $\text{NiO}$  katody.

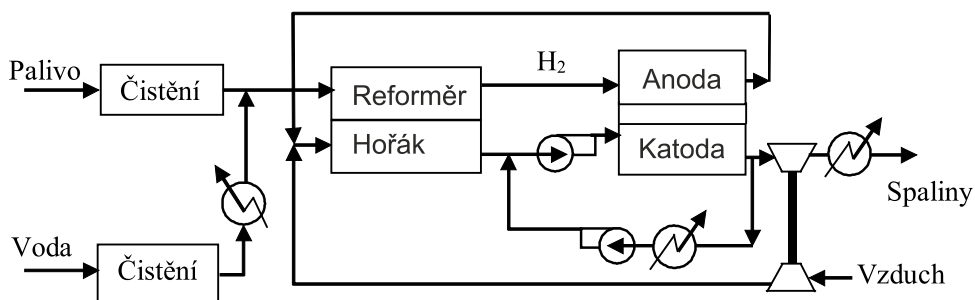
Palivové články na bázi tekutých uhličitánů pracují s teplotami okolo 650 °C (1 200 °F) a s tlaky v rozmezí 1 až 10 barů relativních (15 až 150 psig). Vysoká teplota je potřebná k zajištění dostatečné vodivosti uhličitánového elektrolytu a současně dovoluje použití levných kovových součástí článku. MCFC jsou obvykle konstruovány jako planární (deskové). [3,4]



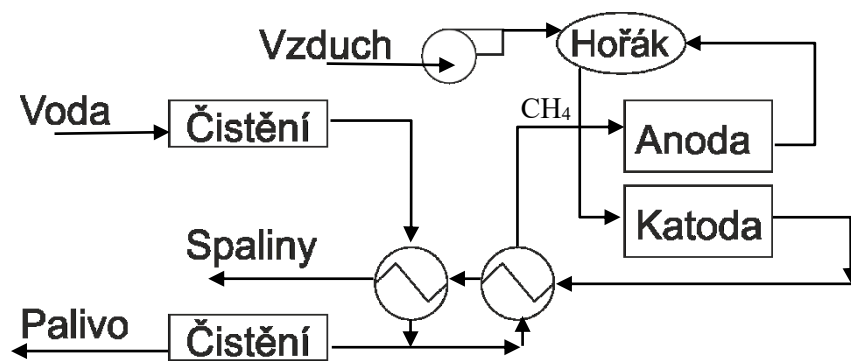
Obr. 7 – Základní koncepce MCFC s vnitřním reformingem

Podstatnou výhodou MCFC oproti předchozím nízko- a středně teplotním typům palivových článků je vnitřní reforming paliva, čímž se výrazně zjednodušuje celý palivový systém. Při vnitřní endotermickou reformní reakce uhlovodíkového paliva se využívá odpadní teplo uvolněné palivovým článkem, díky čemuž dochází ke zvýšení elektrické účinnosti.

Porovnání systému MCFC s vnější a vnitřním reformingem paliva:



Obr. 8 – Vnější reforming



Obr. 9 – Vnitřní reforming

Tab. 4 – Výhody a nevýhody palivových článků (MCFC)

Výhody a nevýhody palivových článků (MCFC)	
Výhody MCFC článků	Nevýhody MCFC článků
Umožňuje samovolný vnitřní reforming paliva	Velký nárok na materiály
Vysoká účinnost reakce	Velká citlivost na síru
Nepotřebují platinové katalyzátory	Dlouhotrvající start (rozehřátí)
Výroba vysokopotenciálního tepla	Znační koroze elektrod
	Tekutý elektrolyt

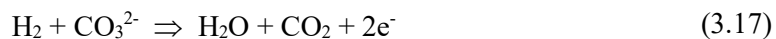
### Reakce

Palivové články na bázi roztavených uhličitánů jsou schopné provozu při zásobování jak čistým vodíkem, tak i lehkými uhlovodíkovými palivy. Když je uhlovodík, např. metan, dopraven na anodu za přítomnosti vody, přijme teplo a podstoupí reakci parního reformingu:



Pokud bude jako palivo použit jiný lehký uhlovodík, potom se může počet molekul vodíku a oxidu uhelnatého změnit, ale produkty reakce jsou v podstatě vždy stejné.

*Reakce na anodě:*



Tato reakce molekuly vodíku s uhličitánovým iontem probíhá bez ohledu na druh použitého paliva.



Toto je reakce oxidu uhelnatého s uhličitánovým iontem, jež se vyskytuje pouze, pokud je použito uhlovodíkové palivo.

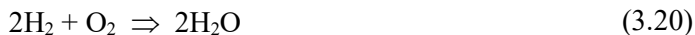
*Reakce na katodě:*



Tato reakce kyslíku s oxidem uhličitým probíhá bez ohledu na druh použitého paliva.

$\text{CO}_3^{2-}$  iont prochází elektrolytem od katody k anodě. Dochází k reakci iontu  $\text{CO}_3^{2-}$  jak s vodíkem tak i oxidem uhelnatým. Elektrony procházejí přes elektrickou zátěž nacházející se ve vnější části elektrického obvodu od anody ke katodě.

Spojením reakcí na anodě a katodě získáme celkové reakce článku, které jsou:

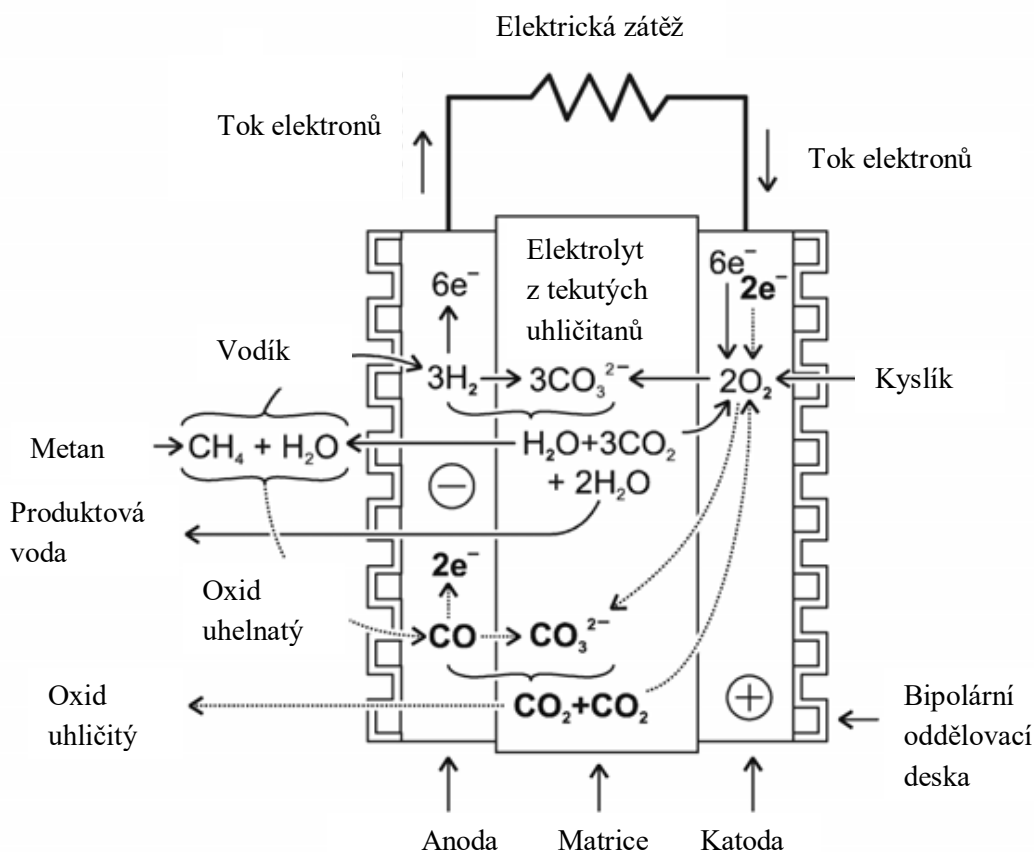


Tento zápis představuje reakci vodíku s kyslíkem, jež probíhá bez ohledu na druh použitého paliva.



Toto je výsledná reakce oxidu uhelnatého (oxidu uhelnatého s kyslíkem), ke které dochází pouze v případě použití uhlovodíkového paliva.

Produktem reakce tohoto palivového článku je, bez ohledu na použité palivo, voda. V případě použití uhlovodíkového paliva je kromě vody produktem také oxid uhličitý. Aby byla zajištěna kvalita (plynulost) elektrochemické reakce musí být oba produkty (voda a oxid uhličitý) plynule odváděny z katody článku.



Obr. 10 – Palivový článek s elektrolytem na bázi roztavených uhličitánů (MCFC)

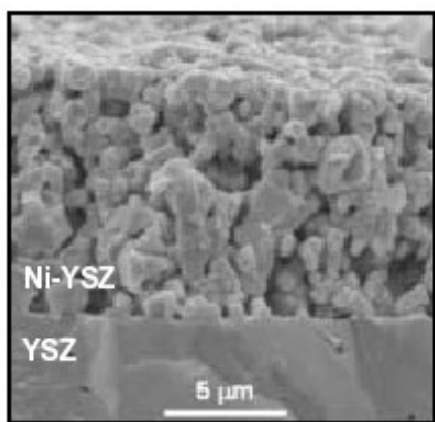
### 3.4 Palivový článek s elektrolytem na bázi pevných oxidů (SOFC)

Tyto palivové články používají elektrolyt, jenž je schopný vést kyslíkové ionty  $O^{2-}$  od katody k anodě. Funkci **elektrolytu** u palivových článků typu SOFC obstarává iontově vodivý keramický materiál (tuhá látka) na bázi oxidů. Palivový článek je díky elektrolytu v pevné fázi principiálně konstrukčně jednodušší než ostatní palivové články a také kompaktnější. Nejrozšířenějším, nejdéle známým a nejvíce odzkoušeným elektrolytem u těchto článků je oxid zirkoničitý  $ZrO_2$  (vyznačují se vysokou aniontovou vodivostí ve velkém rozsahu parciálních tlaků  $O_2$ , stabilizovaný oxidem yttria  $Y_2O_3$  (YSZ). Jsou však zkoumány i další perspektivní materiály, jež by se mohly z důvodu svých lepších vlastností stát náhradou za výše zmíněnou látku. Za teplot nad  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  se  $ZrO_2$  stává vodivým pro  $O^{2-}$  ionty, nevodivý pro elektrony a zůstává trvale nepropustný pro plyny.

Dle nových poznatků se jeví jako možná vhodná látka pro elektrolyt, látka tvořená  $ZrO_2$  s přísadou  $Sc_2O_3$ . Předností oproti YSZ by měla být její vyšší elektrická vodivost za nižších teplot, a to teplot okolo  $650$  až  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [3]

Existují i další materiály, například  $CeO_2$ , které díky svým vlastnostem jakožto iontové vodiče, mají vyšší vodivost iontů  $O^{2-}$  než  $ZrO_2$  při srovnatelných teplotách. Tyto materiály jsou však méně stabilní a to především v prostředí s nízkou koncentrací kyslíku. Přidávkem speciálních dopantů, například Ga, můžeme jejich vlastnosti zlepšovat.

Jsou také zkoumány směsné keramické materiály na bázi oxidu  $La_{1-x}Sr_xGa_{1-y}Mg_yO_{3-z}$ , které vykazují doposud nejvyšší iontovou vodivost. Při teplotách  $800^{\circ}\text{C}$  dosahují vodivosti, jež dosahuje ytriem stabilizovaný  $ZrO_2$  při teplotách  $1\ 000^{\circ}\text{C}$ .



**Anoda** je převážně používán směsný keramicko-kovový sintrovaný materiál na bázi niklu a  $Y_2O_3$ , stabilizovaného mřížkou  $ZrO_2$ . Kvůli zabezpečení dobrého transportu plynu a zaručení co možná největší reakční plochy je požadována porézní struktura materiálu anody, viz obrázek 11. Její pórozita bývá u různých řešení v rozmezí  $20 \div 50\%$ .

Materiál anod může být také uzpůsobován k přímému katalytickému reformování a to především metanu na směs  $CO$  a  $H_2$ .

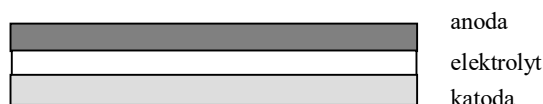
**Katoda** SOFC článků má ze stejných důvodů jako anoda porézní strukturu. Jsou vyrobeny buď z  $LaMnO_3$  dopovaného stronciem, nebo různých směsných oxidů typu perovskit s p-typem vodivosti a směsnou iontovou a elektronovou vodivostí. Tyto materiály katod umožňují efektivní provoz palivových článků (společně s elektrolytem LSGM) i za teplot pod  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Nověji se ukazují jako vhodné, zvláště pro SOFC pracující za teplot pod  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , katody na bázi směsných kobaltitanů La, Sr a Fe (tzv. LSFC katody). Materiály na bázi LSFC a směsné materiály typu LSFC/ $Ce_{0,9}Sm_{0,1}O_{1,95}$  mají oproti klasickým LSM katodám lepší kinetiku a vyšší difúzní koeficient kyslíku. [3]

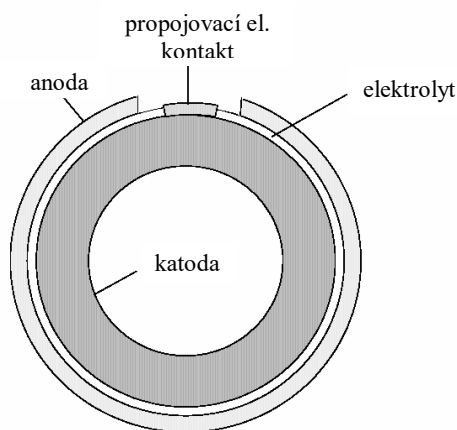


Na základě uspořádání anody, elektrolytu a katody je možné palivové články rozdělit do tří základních skupin, a to:

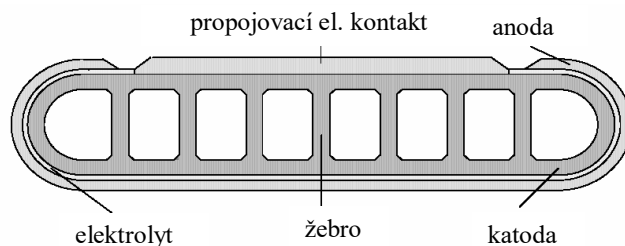
- s **planárním** uspořádáním, viz Obr. 12,
- s **trubkovým** uspořádáním (tzv. systém tubular), viz Obr. 13,
- a s **HPD** uspořádáním palivového článku, jakožto dalším stupeň vývoje systému tubular, viz Obr. 14



Obr. 12 – Planární uspořádání



Obr. 13 – Trubkové uspořádání

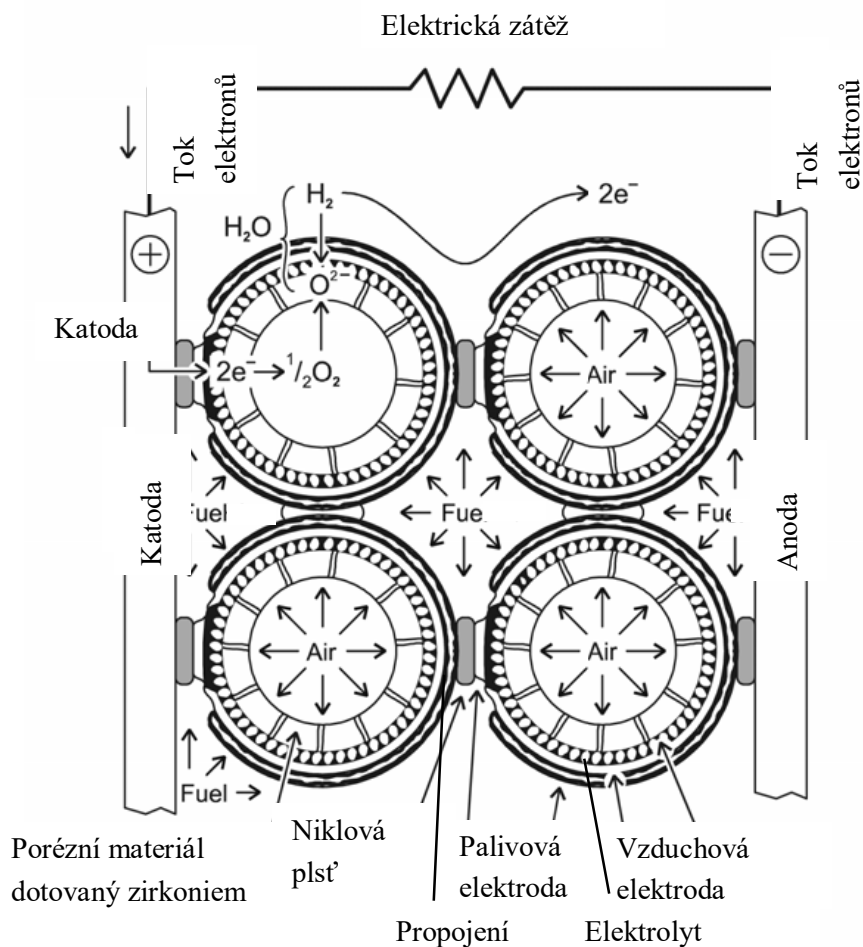


Obr. 14 – HPD uspořádání

Nejdéle vyvíjeným a nejvíce propracovaným se jeví systém trubkový. Tento systém je vyvíjen především firmou Siemens Westinghouse, viz Obr. 13. Obdobu tohoto systému je vyvíjena také firmou Mitsubishi Heavy Industry.

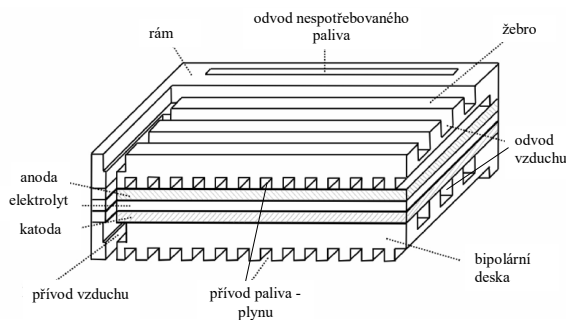
Co se týče těsnění, články díky vlastní tíži doléhají na těsnící plochy. Jsou konstrukce, ve kterých jsou články ukládány do stacku (téměř) bez těsnících prvků.

Mnohá výzkumná pracoviště a firmy se v poslední době zaměřují na planární uspořádání SOFC. Důvody jsou v podstatě dva, a to již zmíněná možnost zvyšování „hustoty výkonu“ článku (proudové hustoty) a snižování výrobních nákladů. [3]

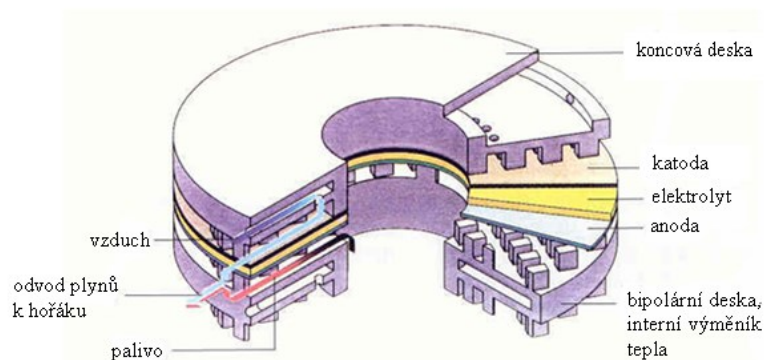


Obr. 15 – Palivový článek na bázi pevných oxidů (SOFC) – trubkový tvar

Planární články mají výhodu v relativně jednoduché a snadno automatizovatelné výrobě pomocí páskového odlévání a síťového tisku elektrod. Jejich nevýhodou je větší křehkost za vysokých teplot pod mechanickým napětím a problémy s utěsněním baterií článků s kovovými bipolárními spojovacími členy. [3]



Obr. 16 – Schéma SOFC článku firmy Forschungszentrum



Obr. 17 – Schéma planárního uspořádání SOFC článku firmy Sulzer HEXIS

**Konstrukce se samonosným elektrolytem** - elektrolytem je opět ytrem stabilizovaný oxid zirkoničitý. Tloušťka vrstvy je pro většinu aplikací v rozmezí 100 až 200  $\mu\text{m}$ , aktivní plocha pak bývá nejčastěji 10 x 10 cm. Na elektrolyt, jakožto nosný prvek, je ze strany přívodu paliva nanášena anodová vrstva (tvořená nikl-cermetem), na stranu přívodu vzduchu pak katodová vrstva (tvořená lanthan-manganitem). Materiál elektrod je pak zároveň i katalyzátorem pro chemickou konverzi přivedených plynů na tzv. třífázovém rozhraní plyn/elektroda/elektrolyt. Poróznost elektrod u těchto aplikací je cca 30%. Typické pracovní teploty odpovídají požadavku elektrolytu a pohybují se v rozmezí 850 až 1 000  $^{\circ}\text{C}$ .

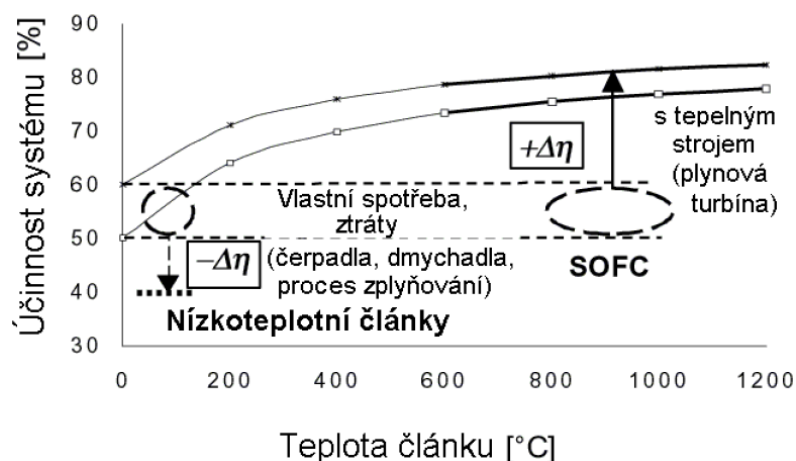
Konstrukční uspořádání planárních článků je ve své podstatě u většiny konstrukcí, jak vlastního seskupení a tak i jednotlivých článků, obdobné. Výzkum a vývoj se tedy zaměřuje především na samotné řešení aktivních členů článku. V konceptech řešení planárních SOFC článků v FZJ je jedním z řešených aspektů možnost snížení pracovní teploty článku. Se snižováním pracovní teploty článku však roste iontový odpor elektrolytu. Řešením je hledání nových materiálů, nebo snižování tohoto navýšení odporu elektrolytu použitím různých jiných mechanismů. Lze toho docílit ztenčováním vrstvy elektrolytu. V tomto případě není při dosažení určité tloušťky vrstva elektrolytu již schopna plnit funkci nosného prvku, nutno ji tedy zastoupit jiným materiálem. V konceptu FZJ je jako nosná struktura používána anoda, viz obrázek 18. [3]



a) samonosným prvkem je elektrolyt

b) samonosným prvkem je anoda (FCJ)

Obr. 18 – Planární uspořádání systému s SOFC článkem a možné způsoby řešení samonosného prvku článku.



Obr. 19 – Vliv teploty na účinnost celého systému

Palivové články SOFC pracují s teplotami od 800 °C do 1 000 °C (1 560 °F až 1 830 °F) a tlaky okolo 1 baru relativního (15 psig).

Prostorové a časové teplotní gradienty vyvolávají mechanická napětí, nerovnoměrnosti elektrochemických dějů a proudových hustot uvnitř palivových článků. Keramické materiály článků špatně snášejí velké a opakované změny teplot při současné mechanické zátěži, což může vyvolat i jejich praskání. Těsnění jednotlivých modulů při měnících se vysokých teplotách je také technicky i materiálově náročné. Jako těsnicí hmoty se používají plsti a tkaniny z keramických vláken, speciální keramické tmely a skla, nebo kombinace plstí se speciálními keramickými tmely. Dlouhodobě spolehlivá uspořádání a materiálová řešení SOFC článků do baterií a bloků, vhodné tvary a materiály spojovacích a bipolárních členů, vhodné vnitřní rozdělovače plynů pro zmenšení lokálních tepelných nerovnoměrností a vlastní materiály těsnění jsou stále středem výzkumu a sřeženým know-how vývojových pracovišť a firem.

Snižování provozní teploty SOFC článků kvůli menšímu namáhání, možnosti použití levnějších materiálů a lepšímu utěšňování soustav článků má smysl z hlediska tepelné integrace asi do 600 °C. Při nižších teplotách již klesá využitelnost odpadního tepla v parních a kombinovaných cyklech

Tab. 5 – Výhody a nevýhody palivových článků (SOFC)

Výhody a nevýhody palivových článků (SOFC)	
Výhody SOFC článků	Nevýhody SOFC článků
Umožňuje samovolný vnitřní reforming paliva	Velký nárok na materiály
Vysoká účinnost	Citlivost na síru v palivu
Nepotřebují platinové katalyzátory	Dlouhotrvající start (rozehřátí)
Výroba vysokopotenciálního tepla	
Mohou pracovat s vyšší proudovou hustotou než MCFC	
Rozličné tvary a uspořádání	
Mají pevný elektrolyt	

**Reakce:**

Palivové články mohou stejně jako MCFC články pracovat jak s čistým vodíkem, tak i s uhlovodíkovými palivy. Vstupní palivo se potom skládá jak z vodíku, tak i z oxidu uhelnatého.

Reakce na anodě jsou následující:



Tato reakce (r. vodíkové molekuly s kyslíkovým iontem) probíhá bez ohledu na druh použitého paliva.



K reakci oxidu uhelnatého s kysl. iontem dochází pouze v případě použití uhlovodíkového paliva.

Reakce na katodě:



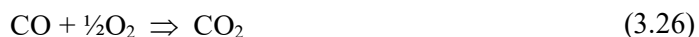
Toto je kyslíková reakce, jež probíhá bez ohledu na druh použitého paliva.

Iont  $\text{O}^{2-}$  prochází elektrolytem od katody k anodě vlivem chemické přitažlivosti vodíku a oxidu uhelnatého, zatímco uvolněné elektrony procházejí vnějším elektrickým obvodem od anody ke katodě. V tomto případě se ionty pohybují od katody k anodě, což je opačný pohyb než probíhá u většiny nízkoteplotních palivových článků. Produkty reakcí se tedy hromadí spíše na anodě než na katodě.

Na základě spojení reakcí na anodě a katodě můžeme psát výsledné reakce článku:



Toto je vodíková reakce (reakce vodíku s kyslíkem), která probíhá bez ohledu na použité palivo.



Toto je reakce oxidu uhelnatého s kyslíkem, jež probíhá jen v případě použití uhlovodíkového paliva.

Palivové články SOFC tedy produkují vodu, bez ohledu na použité palivo, a oxid uhličitý, v případě použití uhlovodíkového paliva. Pro zachování kvality reakce musí být oba druhy reagentů (voda a oxid uhličitý) plynule odnímány z katody. [3]

## 4 Kogenerační jednotky na bázi vodíkových palivových článků

V tomto bodu se zaměřím na popis možností aplikace palivových článků o menším výkonu do domovních stacionárních kogeneračních systémů. Největší využití mikrokogeneračních jednotek najdeme tam, kde je neustálá poptávka po tepelné a elektrické energii. Například se jedná o hotely, penziony, internáty, bazény, nemocnice, sídliště, průmyslové podniky a jiné veřejné budovy kde je potřeba aby zařízení budovy bylo v provozu co nejvíce hodin. Jednotka, která se volí pro danou budovu, se určuje podle spotřeby elektrické energie a tepla.

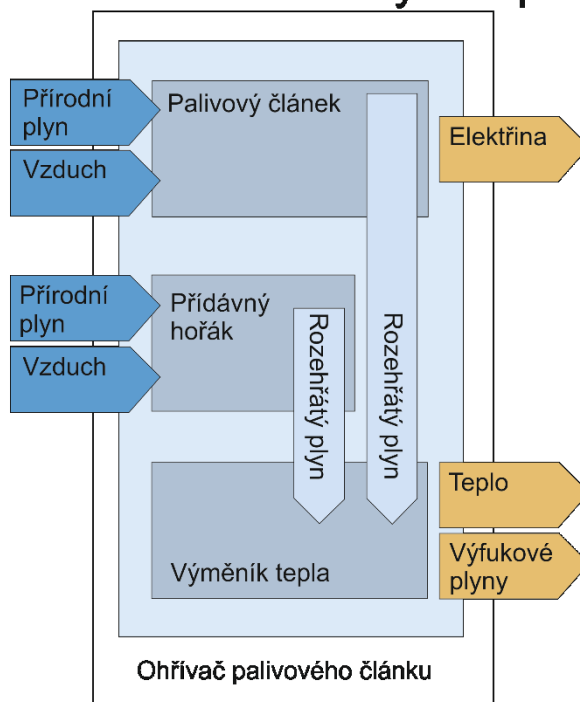
### 4.1 MKJ Galileo 1000 N

Jednotka Galileo je vyrobena švýcarskou firmou S Hexis AG a využívá palivového článku s pevným elektrolytem (SOFC). Jednotka splňuje veškeré základní požadavky na elektřinu a teplo pro rodinný dům nebo pro menší panelový dům. Palivový článek poskytuje elektrický výkon 1 kW a tepelný výkon cca 2 kW. Pokud požadavky na tepelný výkon přesáhnou tuto hodnotu 2 kW, je zde integrován plynový hořák, který může dodávat dalších 20 kW tepelného výkonu. Pokud jde o výrobu tepla je systém srovnatelný s moderním plynovým kondenzačním kotlem. Schopnost produkovat energii a vynikající hospodárnost s CO<sub>2</sub>. [6]



Obr. 20 – Jednotka Galileo 1000N

### Generace elektřiny a tepla



Obr. 21 – Schéma generace tepla a elektřiny jednotkou Galileo 1000 N

Tab. 6 – Parametry jednotky Galileo 1000 N

<b>Elektrický výkon</b>	1 kW
<b>Tepelný výkon</b>	1,8 kW
<b>Palivo</b>	Zemní plyn
<b>Napájení</b>	230 V AC, 50 Hz
<b>Účinnost elektrická</b>	30-35 %
<b>Účinnost celková</b>	95 %
<b>Typ palivového článku</b>	HEXIS SOFC
<b>Přídavný hořák</b>	
<b>Tepelný výkon</b>	20 kW
<b>Cena</b>	~19 000 € bez DPH

Výhody MKJ :

- Přímá přeměna chemické energie paliva na energii elektrickou
- Velmi nízké emise škodlivin
- Možnost použití množství různých plyných paliv (po úpravě)
- Nehlučný provoz v důsledku absence pohyblivých částí
- Široké rozmezí konstrukce článků podle výkonu

Nevýhody MKJ :

- Citlivost na příměsi v palivu a okysličovadle
- Vysoká prvotní investice

## 4.2 MKJ BlueGen™

Jednotka BlueGen™ je vyrobena italskou firmou SOLIDpower. Firma tuto jednotku převzala od firmy Ceramic Fuel Cells Limited se kterou se v roce 2015 spojila. Tato firma je velmi progresivní společností v oblasti vývoje článku SOFC a jejich aplikací v kogeneračních jednotkách. Jedná se o systém, který nabízí vysokou elektrickou účinnost (až 60 %). U tohoto typu však klesá tepelný výkon a to na 0,6 kW. Výrobce však uvádí, že jednotka dokáže produkovat až 200 l horké vody za den. Jelikož jednotka využívá vysokoteplotních SOFC palivových článků projevuje se výrazná nevýhoda v dosažení provozní teploty. Jmenovitý výkon je dosažen až po 20 hodinách. Je zřejmé, že nelze příliš rychle regulovat výkon modulu a proto se jednotka hodí spíše na konstantní provozní podmínky. K tomuto modelu také není přidán přídavný hořák jako je to u jednotky od společnosti Hexis AG a proto se doporučuje do otopné soustavy přidat i jiný zdroj tepla. Jednotku můžeme kontrolovat i vzdáleně přes internet.[7]



Obr. 22 – Jednotka BlueGen™



Obr. 23 – Modul palivového článku  
BlueGen™



Obr. 24 – Popis jednotky BlueGen™ (1 – modul s palivovými články, 2 – Integrované zásobníky na vodu, 3 – Integrované čištění plynu, 4 – Úprava výstupního el. proudu)

Tab. 7 – Parametry jednotky BlueGen™

<b>Elektrický výkon</b>	1,5 kW
<b>Tepelný výkon</b>	0,6 kW
<b>Palivo</b>	Zemní plyn, bio-metan
<b>Napájení</b>	230 V AC, 50 Hz
<b>Účinnost elektrická</b>	60 %
<b>Účinnost tepelná</b>	25 %
<b>Účinnost celková</b>	85 %
<b>Typ palivového článku</b>	SOFC
<b>Cena</b>	~ 18 350 € bez DPH

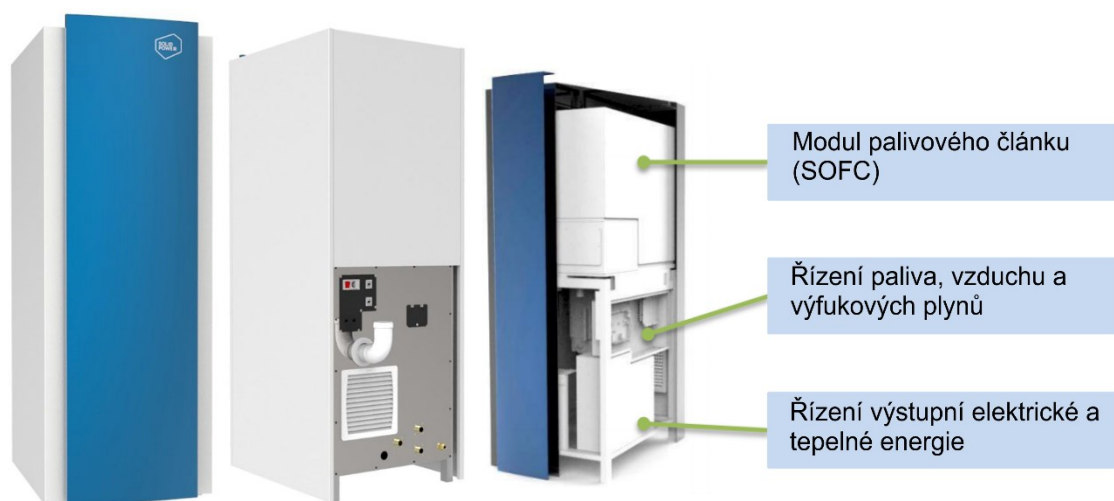
### 4.3 MKJ EnGen™ -2500

Tato jednotka je také od firmy SOLIDpower a může být instalována v několika různých konfiguracích zahrnující:

- Samostatnou mikrokogenerační jednotku s vodní nádrží pro využití v domácnosti, která může být kombinovaná s tepelným a elektrickým okruhem solárních a větrných elektráren.
- Baterii mikrokogeneračních jednotek v serii sjednocených s teplárnou pro malé komerční využití.

V obou těchto konfiguracích může být integrováno tepelné čerpadlo. [8]





Obr. 25 – Jednotka EnGen™-2000

Tab. 8 – Parametry jednotky EnGen™-2000

<b>Elektrický výkon</b>	2,5 kW
<b>Tepelný výkon</b>	2 kW
<b>Palivo</b>	Zemní plyn,
<b>Napájení</b>	230 V AC, 50 Hz
<b>Účinnost elektrická</b>	50 %
<b>Účinnost tepelná</b>	40 %
<b>Účinnost celková</b>	90 %
<b>Typ palivového článku</b>	SOFC
<b>Výrobní cena</b>	~ 12 500 € bez DPH

#### 4.4 MKJ Logapower FC10

Novinkou na trhu bude jednotka Logapower FC10 vyrobená firmou Buderus, která je dceřinou společností firmy Bosh Termotechnika. Je to přední výrobce a dodavatel tepelné techniky u nás. Bosh tuto jednotku představil na veletrhu ISH 2013. Logapower FC10 je systém na výrobu tepla a elektřiny a bude dostupný začátkem roku 2016. Jednotka je vhodná pro nové i stávající rodinné domy. Elektrická účinnost se pohybuje okolo 45 % a celková až 90 %. V jednotce je integrován plynový kondenzační kotel typ GBH 172. [9]



Obr. 26 – Jednotka Logapower FC10

Tab. 9 – Parametry jednotky Logapower FC10

<b>Elektrický výkon</b>	700 W
<b>Tepelný výkon</b>	700 W
<b>Palivo</b>	Zemní plyn
<b>Napájení</b>	230V AC, 50 Hz
<b>Účinnost elektrická</b>	45 %
<b>Účinnost celková</b>	90 %
<b>Typ palivového článku</b>	Aisin Seiki SOFC
<b>Plynový kondenzační kotel</b>	
<b>Tepelný výkon</b>	25 kW
<b>Cena</b>	Zatím se neuvádí

#### 4.5 MKJ Vitovalor 300-P

Vitavalor 300-P byla prezentována firmou Viessmann ve spolupráci s Panasonic na veletrhu ISH 2015. Je to první sériově vyráběná mikrokogenerační jednotka na bázi palivových článků. Tento inovativní systém vyrábí současně a ekologicky elektřinu a teplo. Tímto se stává jeho provozovatel nezávislým na veřejné distribuci.

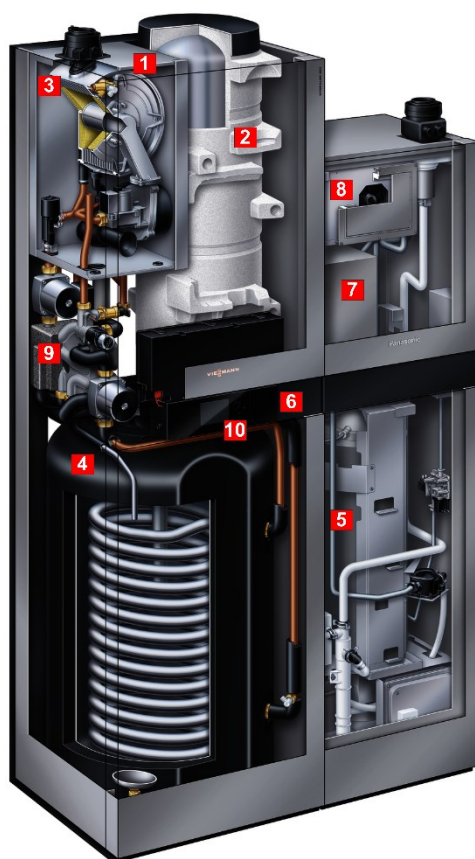
V porovnání s plynovým kondenzačním kotlem a odběrem elektřiny z veřejné distribuční sítě ušetříte takřka 40 % svých nákladů na energie a snížíte tak emise CO<sub>2</sub> asi o 50 %. Toto domácí vytápění dokáže denně vyrobit až 15 kilowatt-hodin elektrické energie. Takto je možné pokrýt většinu spotřeby domácnosti. Úměrně k tomu se zvýší taky míra nezávislosti na veřejné distribuční síti a taky odběr její drahé elektřiny.

Teplo které v palivovém článku vzniká současně s výrobou elektřiny, se využívá na vytápění nebo ohřev pitné vody. V případě zvýšeného odběru tepla se automaticky do procesu zapojí integrovaný plynový kondenzační kotel.

V případě modulu palivového článku jde o technologii PEM (Polymer Elektrolyt Membran, kapitola 3.1.3.), která na svůj provoz využívá zemní plyn, přičemž dodnes firma Panasonic v Japonsku zrealizovala více jak 50 000 instalací. Tyto články jsou koncipovány na životnost 60 000 provozních hodin, což odpovídá asi 10 rokům. Společnost Viessmann integrovala tuto technologii do kompaktního uceleného systému společně s plynovým kondenzačním kotlem na vykrytí zátěžových špiček a akumulacním zásobníkem pitné vody, jako i regulací systému.

Vitavalor 300-P se skládá ze dvou jednotek, modul palivového článku a modul kondenzačního kotle, které je na místo instalace dopravit odděleně. Obě jednotky zabírají pouze 0,65 m<sup>2</sup>. Oba moduly jsou kompletně předvybavené zbývá je jen připojit k zemnímu plynu, elektrické přípojce, vedení spalín a vzduchu.

Plynový kondenzační kotel si vyžaduje obvyklý servis. Palivové články vyžadují údržbu jen každé dva roky. Tato údržba se omezuje pouze na výměnu vzduchového a vodního filtru což zabere jen pár minut. Jednotka na odsíření zemního plynu pro palivové články je bezúdržbová. [10]



- 1** Plynový kondenzační kotel
- 2** Nádrž na teplou vodu
- 3** Výměník tepla z nerezové oceli
- 4** Nádrž pro ohřev pitné vody
- 5** Reformer (odlučovač síry)
- 6** Hlavní ovládací panel
- 7** Modul palivového článku
- 8** Měnič
- 9** Hydraulický agregát
- 10** Ekvitermní regulace

Obr. 27 – Jednotka Vitovalor 300-P

Tab. 10 – Parametry jednotky Vitovalor 300-P

<b>Elektrický výkon</b>	750 W
<b>Tepelný výkon</b>	1 kW
<b>Palivo</b>	Zemní plyn
<b>Napájení</b>	230 V AC, 50 Hz
<b>Účinnost elektrická</b>	37 %
<b>Účinnost celková</b>	90 %
<b>Typ palivového článku</b>	SOFC
<b>Plynový kondenzační kotel</b>	
<b>Tepelný výkon</b>	19 kW
<b>Cena</b>	~ 30 000 - 35 000 €

## 5 Energetická bilance rodinného domu

### 5.1 Popis zvoleného objektu

Jedná se o třípodlažní, částečně podsklepený objekt se zastavěnou plochou 102,30m<sup>2</sup>. Využitým podkrovím a využitým půdním prostorem. Střecha je sedlová se sklonem 51° se sedlovým vikýřem. Šikminy krovu jsou zateplené minerální tepelnou izolací vloženou mezi krokve (až do hřebene). Obvodové zdi jsou vyzděny plnými cihlami, tvárnicemi ytong a částečně dřevěnými hranoly. Rodinný dům je po celkové rekonstrukci, která obnášela výměnu kastlových dřevěných oken za plastová s izolačním trojsklem a kontaktní zateplení fasády.

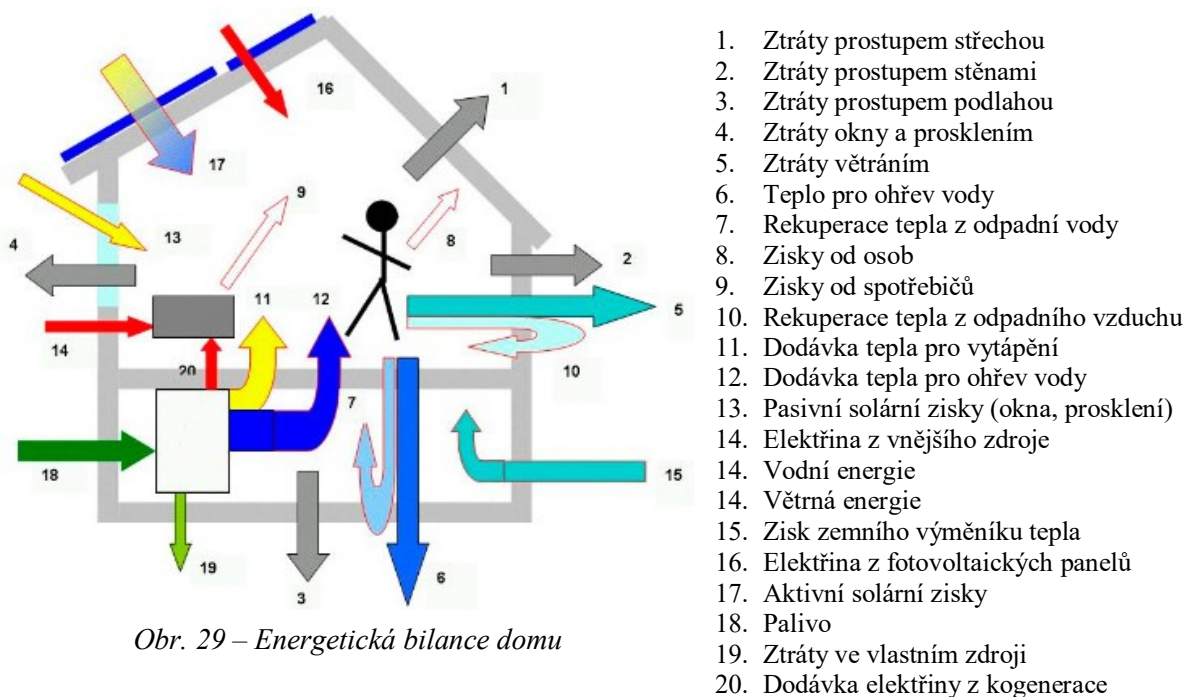


*Obr. 28 – Fotografie řešeného rodinného domu*



## 5.2 Sestavení energetické bilance domu

V obytných domech se používají energie v různé podobě a pro různé účely. Nejvíce viditelnou položkou energetické bilance je teplo pro vytápění, ale i osvětlení. Energie na osvětlení se pohybuje u budov kolem 5 až 15 % z celkové spotřebované energie a nemá tedy až takový význam při řešení otázky „kde ušetřit“. Právě pro celkový přehled se sestavuje energetická bilance, kde získáme přehled o energetických tocích v domě. [11]



Obr. 29 – Energetická bilance domu

Abychom správně sestrojili energetickou bilanci dané budovy, musíme zjistit veškeré energetické ztráty a zisky (potřeby a zdroje). Rozdíl mezi ziskem a ztrátou je třeba krýt ze zdroje. Největší ztrátou byla u starších domů potřeba tepla pro vytápění a větrání, zatímco potřeba teplé vody byla menší. Nejčastěji se tyto potřeby kryly kotlem na tuhá paliva nebo elektřinou a zisky od ostatních elektrospotřebičů se zanedbávaly díky malému podílu na celkovém krytí.

Potřeba tepla se odvíjí od vlastností stavebních konstrukcí a četnosti větrání. Až vyčíslení podílu jednotlivých konstrukcí pomáhá k uvědomění, které konstrukce mají největší ztráty. U nových staveb jsou použity nové a lepší technologie, díky tomu klesá spotřeba tepla na vytápění. Proto narůstá význam ostatních zdrojů tepla. Např. pasivní domy počítají s tím, že zdroje tepla, jako jsou kotle, už budou dodávat jen velmi málo energie a další se bude získávat pomocí rekuperace.

Rekuperace totiž využívá tepla z odváděného větracího vzduchu nebo odpadních vod. Hojně se využívá různých typů solárních systémů i tepelných čerpadel. Dalším přísunem tepla jsou nejen spotřebiče běžně fungující v místnosti (lednice, pračka, myčka, atd.), ale i živočichové (pes, kočka, člověk), kde se hovoří o tzv. metabolickém teple. [11]

## 5.3 Energie pro vytápění

### 5.3.1 Tepelné ztráty

Celková tepelná ztráta budovy se značí  $Q_1$  a vypočítává se pro budovy s rovnoměrnou vnitřní teplotou (jedno zónové budovy) za definované období.

$$Q_1 = H \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad (J) \quad (5.1)$$

kde:

$\theta_i$  – vnitřní požadovaná teplota (°C)

$\theta_e$  – průměrná venkovní teplota během výpočtového období (°C)

$t$  – délka výpočtového období (s)

$H$  – měrná tepelná ztráta budovy (W/K) [11]

Měrná tepelná ztráta budovy se vypočte ze vztahu:

$$H = (H_T + H_V) \quad (W/K) \quad (5.2)$$

kde:

$H_T$  – měrná tepelná ztráta prostupem tepla vypočítaná podle normy EN ISO 13789

$H_V$  – měrná tepelná ztráta větráním [11]

Měrná tepelná ztráta větráním vypočítána ze zjednodušeného vzorce:

$$H_V = 0,34 \cdot V_i \quad (W/K) \quad (5.3)$$

kde:

$V_i$  – objemový tok vzduchu ( $m^3 \cdot h^{-1}$ ) a odvíjí se od způsobu větrání [11]

Měrná tepelná ztráta prostupem tepla se vypočte dle vztahu:

$$H_T = \sum (A_j \cdot U_j \cdot b_j) + A \cdot \Delta U_{t_{bm}} \quad (W/K) \quad (5.3)$$

kde:

$A_j$  – plocha j-té ochlazované konstrukce ( $m^2$ )

$U_j$  – součinitel prostupu tepla j-té konstrukce včetně vlivu tepelných mostů [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$\Delta U_{t_{bm}}$  – průměrný vliv teplených vazeb mezi ochlazovanými konstrukcemi [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$b_j$  – činitel teplotní redukce j-té konstrukce, stanovuje se z tabulek a je bezrozměrný [11]

Součinitel prostupu tepla se odvozuje z tepelného odporu konstrukce  $R$  takto:

$$U = \frac{1}{R_{si} \cdot R \cdot R_{se}} \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right) \quad (5.4)$$

kde:

$R_{si}$  – odpor při prostupu tepla na vnitřní straně konstrukce  $[(m^2 \cdot K)/W]$

$R_{se}$  – odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce  $[(m^2 \cdot K)/W]$

$R$  – odpor konstrukce  $[(m^2 \cdot K)/W]$  [11]

### 5.3.2 Tepelné zisky

Celkové tepelné zisky značíme  $Q_g$  a vypočítáme je součtem všech tepelných zisků (vnitřních i solárních):

$$Q_g = Q_i + Q_s \quad (J) \quad (5.5)$$

kde:

$Q_i$  – vnitřní tepelný zisk (J)

$Q_s$  – solární tepelný zisk (J) [11]

Do celkového tepelného zisku zahrnujeme veškeré teplo vyprodukované ve vytápěném prostoru takovými zdroji, které jsou součástí otopných systémů. Mezi hlavní zdroje považujeme metabolické zisky (teplo produkující živočichové), teplo získané z osvětlení nebo jiných přístrojů a v neposlední řadě zisky z rozvodu teplé vody a kanalizačního systému. Nejvhodnější pro výpočet jsou průměrné hodnoty za měsíc či rok. Vnitřní tepelný zisk vypočítáme následovně:

$$Q_i = [\Phi_{ih} + (1 - b) \cdot \Phi_{iu}] \cdot t = \Phi_i \cdot t \quad (J) \quad (5.6)$$

kde:

$\Phi_{ih}$  – průměrná energie vnitřních tepelných zisků ve vytápěném prostoru (W)

$\Phi_{iu}$  – průměrná energie vnitřních tepelných zisků v nevytápěném prostoru (W)

$\Phi_i$  – průměrná energie vnitřních tepelných zisků (W)

$b$  – zmenšující faktor podle normy EN ISO 13 789 (-) [11]

Solární tepelné zisky jsou výsledkem dopadajícího slunečního záření v daném místě. Mezi faktory ovlivňující tepelné zisky patří orientace osluněných ploch, charakteristika solárních propustností, pohltivost osluněných ploch a na trvalém zastínění. Bereme do úvahy zasklení, vnitřní stěny a podlahy prostorů, které jsou vystaveny těmto slunečním zářením, stěny za transparentními křídly a transparentní izolace. Solární tepelný zisk vypočítáme pro uvedené období takto:

$$Q_s = \sum_j I_{sj} \cdot \sum_n A_{sjn} \quad (J) \quad (5.7)$$

kde:

$I_{sj}$  – celková energie globálního záření dopadajícího na jednotku plochy s orientací  $j$  během výpočtového období ( $J/m^2$ )

$A_{sin}$  – solární účinná osluněná plocha povrchu s orientací  $j$  ( $m^2$ )

První suma  $j$  obsahuje zachycení solárního záření pro všechny orientace a druhá suma  $n$  pro veškeré povrchy [11]

Pro výpočet solárního tepelného zisku můžeme použít i tento zjednodušený vztah:

$$Q_s = A_{sol} \cdot G_m \quad (kWh) \quad (5.8)$$

kde:

$A_{sol}$  – účinná solární plocha zasklení ( $m^2$ )

$G_m$  – celková měsíční energie globálního slunečního záření v dané lokalitě ( $kWh/m^2$ )

### 5.3.3 Určení množství tepla na vytápění

První variantou jak vypočítat potřebu tepla pro vytápění domu je spočítat potřebu tepla pro každé výpočtové období (měsíc). Určí se z tepelných ztrát a tepelných zisků v každém měsíci takto:

$$Q_h = Q_1 - \eta \cdot Q_g \quad (J) \quad (5.9)$$

kde:

$Q_h$  – potřeba tepla na vytápění za jeden měsíc (dané období) (J)

$Q_1$  – tepelná ztráta za jeden měsíc (J)

$Q_g$  – tepelný zisk za jeden měsíc (J)

$\eta$  – faktor využití (-) [11]

Sečtením všech potřeb tepla za každý měsíc dostáváme hodnotu potřebného tepla za rok. Můžeme však postupovat podle druhé varianty, která vychází z normy ČSN 38 3350. Tento výpočet roční spotřeby tepla se odvíjí z dennostupňové metody a vztah vypadá takto:

$$Q_{r,vyp} = \frac{24 \cdot 3600 \cdot \varepsilon \cdot Q_{max} \cdot (\theta_i - \theta_{e,pr}) \cdot d}{(\theta_i - \theta_e)} \quad (J \cdot r^{-1}) \quad (5.10)$$

kde:

$Q_{max}$  – maximální ztráta budovy (W)

$\varepsilon$  – opravný součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty infiltrací (0,7 – 0,9)

$\theta_i$  – požadovaná výpočtová vnitřní teplota ( $^{\circ}C$ )

$\theta_e$  – nejnižší výpočtová venkovní teplota ( $^{\circ}C$ )

$\theta_{e,pr}$  – průměrná teplota venkovního vzduchu v topném období ( $^{\circ}C$ )

$d$  – počet dní otopného období (-) [11]



## 5.3.4 Výpočet tepelných ztrát zvoleného domu

Proto, aby mohl být proveden výpočet, je potřeba zjistit vlastnosti konstrukcí a výplní otvorů v domě.

Tab. 11 – Vlastnosti výplní otvorů pláště budovy

Výplň	ss	$U$ $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$	$A$ (m <sup>2</sup> )	Propustnost	Podíl rámu (%)	$A_{sol}$ (m <sup>2</sup> )
OD2	S	0,78	0,63	0,67	25,3	0,48
OD3	S	0,78	0,47	0,67	0	0,47
OD3	S	0,78	0,47	0,67	0	0,47
OD1	V	0,78	2,19	0,67	17,5	1,81
OD1	V	0,78	2,19	0,67	17,5	1,81
OD1	J	0,78	2,19	0,67	17,5	1,81
OD1	J	0,78	2,19	0,67	17,5	1,81
DO1	J	2,4	1,7	0,67	0	-
OD1	Z	0,78	2,19	0,67	17,5	1,81
OD6	V	1,4	1,08	0,67	18,5	0,89
OD1	V	0,78	2,19	0,67	17,5	1,81
OD7	J	1,4	0,27	0,67	34,8	0,18
OD1	J	0,78	2,19	0,67	18,5	1,79
OD5	J	0,78	1,44	0,67	0	1,44
DB1	J	0,78	1,4	0,67	22,1	1,1
OD4	S	0,78	0,98	0,67	0	0,98
OD8	J	1,7	0,63	0,67	23,8	0,49
OD8	J	1,7	0,63	0,67	23,8	0,49
OD8	J	1,7	0,63	0,67	23,8	0,49
DV	-	2	1,52	0,67	99	-
OD9	S	1,2	1,44	0,67	9,9	1,3
OD10	S	1,2	1,44	0,67	9,9	1,3
OD11	J	0,78	1,8	0,67	19,6	1,45
OD12	V	1,4	1,072	0,67	13,8	0,93
OD13	J	1,4	0,5	0,67	34,92	0,33

Výpočet účinné solární plochy je proveden pomocí následujícího vzorce:

$$A_{sol} = A \cdot \frac{(100 - \text{Podíl rámu})}{100} \quad (m^2) \quad (5.11)$$

Výplně:

OD – okna

DO – vstupní dveře

DB – dveře balkonové

DV – dveře vnitřní

Tab. 12 – Parametry neprůsvitné konstrukce

Označení	$\frac{U}{\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)}$	Materiál	d(mm)	$\frac{\lambda}{\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)}$	$\frac{R}{\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)}$
PDL1	2,066	Keram.dlažba	15	1,01	0,015
		Malta cementová	20	1,02	0,02
		Beton ze škváry (1100)	75	0,51	0,147
		Beton hutný (2100)	40	1,05	0,038
		Asfaltové pásy a lepenky	5	0,21	0,024
		Beton hutný (2100)	100	1,05	0,095
		$\Sigma$	255		0,339
	Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,17 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$				
PDL2	0,276	Vlysy	15	0,18	0,083
		Malta cementová	20	1,02	0,02
		Beton tuhý (2100)	60	1,05	0,057
		Tvarovky HURDIS	80	0,589	0,136
		Omítka vápenná	15	0,7	0,021
		Polystyren pěnový EPS (20-25)	120	0,037	3,243
		$\Sigma$	310		3,560
	Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,17 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$				
PDL3	0,648	Dřevo měkké kolmo k vláknům	15	0,18	0,083333333
		Mirelon	3	0,038	0,078947368
		Cetris deska	30	0,251	0,119521912
		Omítka vápenná	25	0,88	0,028409091
		Dřevěný záklop	20	0,18	0,111111111
		Stropní trám	180	0,18	1
		$\Sigma$	273		1,421
	Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,17 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$				
SCH1	0,323	Dřevo měkké kolmo k vláknům	10	0,18	0,056
		Minerální vlna MVV (75)	40	0,039	0,947
		Fólie z PE	1	0,35	0,003
		Minerální vlna MVV (75)	130	0,039	3,333
		Fólie z PE	1	0,35	0,003
		$\Sigma$	182		4,342
		Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,1 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,04 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$			
	SCH2	0,442	Omítka vápenná	20	0,88
Dřevo měkké kolmo k vláknům			20	0,18	0,111
Fólie z PE			1	0,35	0,003
Minerální vlna MVV (75)			120	0,039	2,644
Fólie z PE			1	0,35	0,003
$\Sigma$			162		2,784
Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,1 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,04 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$					

Tab. 13 – Parametry neprůsvitné konstrukce

Označení	$\frac{U}{\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)}$	Materiál	d(mm)	$\frac{\lambda}{\left(\frac{m \cdot K}{W}\right)}$	$\frac{R}{\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)}$
STR1	0,359	Omítka vápenná	20	0,88	0,023
		Dřevo měkké kolmo k vláknům	20	0,18	0,111
		Fólie z PE	1	0,35	0,003
		Minerální vlna MVV (75)	120	0,039	3,525
		$\Sigma$	161		3,662
	Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,1 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,1 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,1 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$				
STR2	0,32	Dřevo měkké kolmo k vláknům	10	0,18	0,056
		Minerální vlna MVV (75)	40	0,039	0,947
		Fólie z PE	1	0,35	0,003
		Minerální vlna MVV (75)	130	0,039	3,333
		Fólie z PE	1	0,35	0,003
	$\Sigma$	182		4,342	
Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,1 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,1 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,1 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$					
SO1	0,227	Omítka vápenná	15	0,88	0,017
		CP 290/140/65 (1700)	400	0,78	0,513
		Omítka vápenocement.	25	0,99	0,025
		Minerální vlna MVV (75)	160	0,039	4,103
		$\Sigma$	600		4,658
	Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,04 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,02 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$				
SO2	0,236	Omítka vápenná	15	0,88	0,017
		CP 290/140/65 (1700)	250	0,78	0,321
		Omítka vápenocement.	25	0,99	0,025
		Minerální vlna MVV (75)	160	0,039	4,103
		$\Sigma$	450		4,466
	Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,04 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,02 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$				
SO3	0,229	Omítka vápenná	40	0,88	0,045
		Dřevo měkké kolmo k vláknům	220	0,18	1,222
		Vz. svislá	25		0,18
		Dřevo měkké kolmo k vláknům	15	0,18	0,083
		Minerální vlna MVV (75)	120	0,039	3,077
	$\Sigma$	420		4,607	
Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,04 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,02 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$					
SO4	0,23	Omítka vápenná	15	0,88	0,017
		Ytong P2 - 500	300	0,15	2
		Minerální vlna MVV (75)	100	0,039	2,564
	$\Sigma$	415		4,581	
Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,04 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,02 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$					

Tab. 14 – Parametry neprůsvitné konstrukce

Označení	$\frac{U}{\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)}$	Materiál	d(mm)	$\frac{\lambda}{\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)}$	$\frac{R}{\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)}$
SO5	0,233	Omítka vápenná	15	0,88	0,017
		CP 290/140/65 (1700)	300	0,78	0,385
		Omítka vápenocement.	25	0,99	0,025
		Minerální vlna MVV (75)	160	0,039	4,103
		$\Sigma$	500		4,530
	Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,04 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$				
SO6	0,474	Omítka vápenná	15	0,88	0,017
		Dřevo měkké kolmo k vláknům	25	0,18	0,139
		Minerální vlna MVV (75)	100	0,039	2,203
		Fólie z PE	2	0,35	0,006
		Dřevo měkké kolmo k vláknům	25	0,18	0,139
	$\Sigma$	167		2,504	
Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,04 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,01 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$					
SV1	0,8	Omítka vápenná	10	0,88	0,011
		Ytong P2 - 500	150	0,15	1
		Omítka vápenná	10	0,88	0,011
	$\Sigma$	170		1,022	
Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$					
SV2	1,646	Omítka vápenná	15	0,88	0,017
		CP 290/140/65 (1700)	250	0,78	0,321
		Omítka vápenná	15	0,88	0,017
	$\Sigma$	280		0,355	
Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$					
SV3	1,389	Omítka vápenná	15	0,88	0,017
		CP 290/140/65 (1700)	400	0,78	0,513
		Omítka vápenocement.	25	0,99	0,025
	$\Sigma$	440		0,555	
Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,04 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,01 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$					
SV4	0,688	Omítka vápenná	40	0,88	0,045
		Dřevo měkké kolmo k vláknům	220	0,18	1,222
		Vz. svislá	25		0,18
		Dřevo měkké kolmo k vláknům	15	0,18	0,083
	$\Sigma$	300		1,530	
Hodnoty pro výpočet: $R_{si}=0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $R_{se}=0,04 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , $\Delta U=0,01 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$					

Označení:

PDL – podlaha

SCH – střecha

STR – strop

SO – obvodová stěna

SV – vnitřní stěna

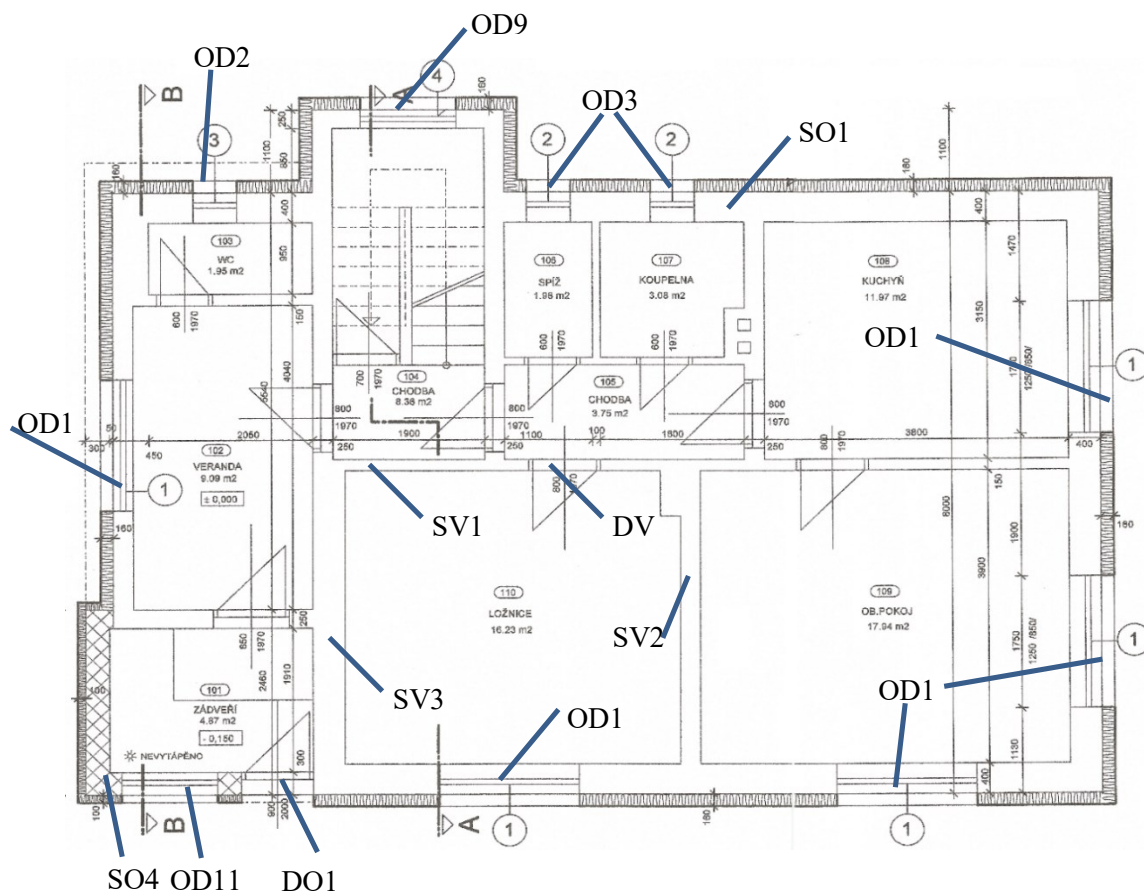
Pro výpočet součinitele přestupu tepla obvodovou stěnou je potřeba nejprve vypočítat jednotlivé odpory daných typů konstrukcí. Ty vypočteme tak že tloušťku  $d$  podělíme tepelnou vodivostí  $\lambda$  daného typu materiálu.

$$R_m = \frac{d_m}{\lambda_m} = \frac{0,15}{1,01} = 0,15 \, m^2 \cdot \frac{K}{W} \quad (5.12)$$

Sečtením všech těchto dílčích tepelných odporů od každého materiálu dostáváme výsledný tepelný odpor  $R$ , který sečteme s odporem při přestupu tepla na vnitřní straně ( $R_{si}$ ) a na vnější straně konstrukce ( $R_{se}$ ). Dále je důležitou částí výpočtu korekční součinitel prostupu tepla ( $\Delta U$ ), který určíme podle ČSN 73 0540, TNI 73 0329 a TNI 73 0330. Výpočet součinitele přestupu tepla vypadá následovně:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} + \Delta U = \frac{1}{0,1 + 4,342 + 0,04} + 0,1 = 0,323 \, \frac{W}{(m^2 \cdot K)} \quad (5.13)$$

Na obrázku Obr. 30 je vyobrazen půdorys 1.NP domu a v něm vyznačeny jednotlivé neprůsvitné konstrukce a výplně otvorů. Jako vzor pro výpočet tepelných ztrát prostupem a větráním jsem zvolil ložnici (110).



Obr. 30 – Půdorys 1.NP s vyznačením výplní otvorů a neprůsvitných konstrukcí

V tabulce Tab. 15 se nacházejí výpočty měrných tepelných ztrát  $H$ , plocha konstrukce  $A_R$  a plocha otvorů  $A_O$ . Tabulka je sestavena z jednotlivých typů neprůsvitných konstrukcí (Tab. 12,13,14) a vlastností výplní otvorů (Tab. 11) podle půdorysu z obrázku Obr. 30. Tyto výpočty byly provedeny pro obě podlaží i podkroví. Plány podkroví i ostatních podlaží se nachází v příloze.

Tab. 15 – Měrná tepelná ztráta místnosti – Ložnice (110)

Označení konstrukce	$U$ $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$	b	Otvor	A (m <sup>2</sup> )	A <sub>O</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>R</sub> (m <sup>2</sup> )	H $\left(\frac{W}{K}\right)$
S01	0,227	1	1	10,4	2,2	8,2	1,9
SV3	1,389	0	-	9,7	0	9,7	0,0
SV1	0,8	0	1	9,8	1,5	8,3	0,0
DV	2	0	1	1,5	1,5	1,5	0,0
SV2	1,646	0	-	10,3	0	10,3	0,0
PDL1	2,066	0,379	-	16,23	0	16,2	12,7
STR1	0,359	1	-	16,23	0	16,2	5,8
OD1	0,78	1	1	2,19	2,19	2,20	1,72

Celková měrná tepelná ztráta prostupem je rovna součtu jednotlivých ztrát a u této místnosti je rovna  $H_{TM} = 22,19 \text{ W/K}$ . Výpočet dílčí měrné tepelné ztráty je označen v tabulce Tab. 15 červeně (S01) a vypadá takto:

$$H = U \cdot b \cdot A_R = 0,227 \cdot 1 \cdot 8,2 = 1,9 \frac{W}{K} \quad (5.14)$$

Dále je vypočtena měrná tepelná ztráta větráním  $H_{Vm}$ , tu významnou měrou ovlivňuje způsob větrání v budově. Pro obytné domy je požadována intenzita výměny vzduchu  $n_p = 0,3 - 0,6 \text{ (l/h)}$ . To znamená, že 30 % až 60 % objemu vzduchu v místnosti se vymění za venkovní vzduch za hodinu. Často bývá předpokládána tzv. přirozená výměna vzduchu. Tato musí být zajištěna infiltrací spárami oken či venkovních dveří nebo větráním otevřením výplní. Tepelná ztráta větráním se vypočítá tak, že se nejdříve určí hygienická výměna vzduchu  $V_{np}$ , která se vypočítá z přirozené výměny vzduchu a celkového objemu místnosti  $V_{mi}$  [12]

$$V_i = V_{np} = n_p \cdot V_{mi} = n_p \cdot A_p \cdot h = 0,3 \cdot 16,2 \cdot 2,48 = 12,1 \frac{m^3}{h} \quad (5.15)$$

$$H_{Vm} = 0,34 \cdot V_i = 0,34 \cdot 12,1 \frac{W}{K} \quad (5.16)$$

V tabulce Tab. 16 je vypočítaná celková tepelná ztráta  $\Phi_{cm}$  všech pokojů v domě. Ta je dána součtem tepelné ztráty prostupem  $\Phi_{Tm}$  a tepelné ztráty větráním  $\Phi_{Vm}$ . Výpočty ztrát jsou provedeny takto:

$$\Phi = H \cdot (t_i - t_e) \quad (W) \quad (5.17)$$

Konkrétní výpočet tepelné ztráty prostupem a větráním:

$$\Phi_{Tm} = H_{Tm} \cdot (t_i - t_e) = 22,1 \cdot (20 - (-15)) = 774 \text{ W} \quad (5.18)$$

$$\Phi_{Vm} = H_{Vm} \cdot (t_i - t_e) = 4,1 \cdot (20 - (-15)) = 144 \text{ W} \quad (5.19)$$

$$\Phi_{cm} = \Phi_{Tm} + \Phi_{Vm} = 774 + 144 = 918 \text{ W} \quad (5.20)$$

V tabulce níže (Tab. 16) jsou uvedeny všechny důležité hodnoty, které se týkají ztrát daného objektu.

Tab. 16 – Tepelné ztráty všech místností

Účel	Číslo místn.	$t_i$ (°C)	$n_p$ ( $\frac{l}{h}$ )	$V_{mi}$ ( $m^3$ )	$V_{np}$ ( $\frac{m^3}{h}$ )	$A_p$ ( $m^2$ )	$H_{Tm}$ ( $\frac{W}{K}$ )	$H_{Vm}$ ( $\frac{W}{K}$ )	$\Phi_{Tm}$ (W)	$\Phi_{Vm}$ (W)	$\Phi_{cm}$ (W)
Zádveří	101	18	0,3	13,4	4,0	4,9	13,1	1,4	431	45	476
Veranda	102	20	0,3	22,5	6,8	9,1	13,9	2,3	485	80	566
WC	103	20	1	4,8	4,8	2,0	4,3	1,6	149	58	207
Chodba	104	20	0,3	5,9	1,8	2,4	1,5	0,6	53	21	74
Chodba	105	20	0,3	9,3	2,8	3,8	2,4	0,9	83	33	117
Spíž	106	18	1	4,9	4,9	2,0	2,1	1,7	71	55	126
Koupelna	107	23	1	7,6	7,6	3,1	3,2	2,6	123	99	221
Kuchyň	108	20	0,3	29,7	8,9	12,0	12,7	3,0	445	106	551
Ob. pokoj	109	20	0,3	44,5	13,3	17,9	16,9	4,5	591	159	750
Ložnice	110	20	0,3	40,3	12,1	16,2	22,1	4,1	774	144	918
Chodba	201	20	0,3	26,8	8,0	11,6	9,8	2,7	343	96	439
Pokoj	202	20	0,3	25,1	7,5	10,9	10,3	2,6	360	90	450
Ob. pokoj	203	20	0,3	40,2	12,0	17,5	9,8	4,1	343	143	487
Kuchyň	204	20	0,3	26,1	7,8	11,4	10,0	2,7	349	93	442
D. pokoj	205	20	0,3	26,6	8,0	11,6	11,2	2,7	391	95	486
Ložnice	206	20	0,3	38,4	11,5	16,4	17,7	3,9	621	137	758
Podkroví	301	20	0,3	37,8	11,4	38,5	51,7	3,9	1 810	135	1 945
$\Sigma$				403,93	133,35	191,03	212,68	45,34	7423	1589	9012

Z tabulky Tab. 16 je patrné, že tepelná ztráta větráním domu je 1 589 W, tepelná ztráta prostupem konstrukcí domu je 7 423 W. Po sečtení těchto dvou ztrát dostaneme hodnotu celkové tepelné ztráty domu  $Q_c = 9 012 \text{ W}$ .

### 5.3.5 Výpočet potřeby tepla na vytápění zvolného domu

Pro určení tepla k vytápění domu je nutné si nejdříve určit okrajové podmínky. Pro obec Zděchov, ve které se dům nachází, jsou tato klimatická data vypsána do tabulek níže. V první tabulce jsou uvedeny průměrné teploty v jednotlivých měsících a délka jednotlivých měsíců. V tabulce Tab. 18 jsou uvedeny měsíční hodnoty globálního slunečního záření, podle TNI 73 0331:2013.

Tab. 17 – Okrajové podmínky podle TNI 73 0331:2013

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Theta_{em}$ (°C)	-1,3	-0,1	3,7	8,1	13,3	16,1	18	17,9	13,5	8,3	3,2	-0,5
Dny	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Hodiny (h)	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

Tab. 18 – Měsíční hodnoty globálního slunečního záření podle TNI 73 0331:2013

SS	Měsíc											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
J	34,2	51,1	74,4	85,7	87	75,6	78,1	96	77,8	74,4	45,4	29
JZ	26,8	41	64,7	86,4	92,3	87,8	85,6	94,5	69,1	60,3	33,8	23,1
Z	14,1	25,5	46,9	74,2	87	90	84,1	80,4	53,3	38,7	18	11,2
SZ	8,2	14,8	29,8	50,4	65,5	70,6	66,2	56,5	35,3	21,6	9,4	6
S	8,2	13,4	25,3	36	49,1	51,8	51,3	42,4	28,8	18,6	9,4	6
SV	8,2	14,8	29,8	50,4	65,5	70,6	66,2	56,58	35,3	27,6	9,4	6
V	14,1	25,5	46,9	74,2	87	90	84,1	80,4	53,3	38,7	18	11,2
JV	26,8	41	64,7	86,4	92,3	87,8	85,6	94,5	69,1	60,3	33,8	23,1
H	20,8	37	72,2	113,8	148,8	146,2	144,3	136,2	87,1	56,5	25,2	14,9

Z parametrů neprůsvitných konstrukcí a z výplní, které byly uvedeny v předchozí kapitole, je sestavena tabulka pouze s výslednými hodnotami pro obálku. Z této a z tabulek Tab. 17 a Tab 18 jsou brány hodnoty pro výpočet potřeby tepla na vytápění v jednotlivých měsících. V tabulce Tab. 19 není zobrazena hodnota měrné tepelné ztráty větráním. Tato hodnota je složena z dílčích měrných tepelných ztrát větrání pro jednotlivé místnosti a vyplývá z tabulky Tab. 16 ze sloupce označeného  $H_{vm}$ .

Celkový součet tepelné ztráty větráním poté vychází  $H_v = 45,34 \text{ W/K}$ .



Tab. 19 – Obvodová hranice budovy

Konstrukce	A (m <sup>2</sup> )	U ( $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ )	b	H ( $\frac{W}{K}$ )
SO1	59,4	0,23	1,00	13,50
OD2	0,6	0,78	1,00	0,47
OD3	0,94	0,78	1,00	0,73
OD1	6,6	0,78	1,00	5,15
OD1	6,6	0,78	1,00	5,15
OD1	2,2	0,78	1,00	1,72
D01	1,7	2,40	1,00	4,08
OD11	1,8	0,78	1,00	1,40
PDL1	25,1	2,07	0,38	19,74
PDL2	47,8	0,28	1,00	13,38
S04	20,1	0,23	1,00	4,62
S05	2,9	0,23	1,00	0,67
OD9	0,72	0,72	1,00	0,52
S03	44,9	0,23	1,00	10,33
OD6	1,1	1,40	1,00	1,54
OD7	0,3	1,40	1,00	0,42
OD5	1,4	0,78	1,00	1,09
OD12	0,93	1,40	1,00	1,30
OD13	0,33	1,40	1,00	0,46
DB1	1,4	0,78	1,00	1,09
S06	2,3	0,47	1,00	1,08
OD4	1	0,78	1,00	0,78
STR1	12,5	0,36	1,00	4,50
SCH2	4,2	0,44	1,00	1,85
SCH1	92,3	0,32	1,00	29,54
PDL3	38,48	0,65	1,00	24,94
STR2	3,6	0,32	1,00	1,15
OD8	1,9	1,70	1,00	3,23
Tepelné vazby mezi konstrukcemi	353,3	0,04	1,00	14,13
$\Sigma$				168,6

Tabulka Tab. 19 je sestrojena na základě plánů, které poskytla majitelka domu. Obvodovou hranici lze také vidět na obrázku Obr. 30. V tabulce ve které můžeme vidět měrnou tepelnou ztrátu jednotlivých obvodových konstrukcí a výplní otvorů je mimo jiné taky vidět hodnoty součinitele prostupu tepla, plochu těchto konstrukcí a celkový součet měrné tepelné ztráty obálkou budovy.

Součet činí  $H = 168,6 \text{ W/K}$  z této hodnoty a z okrajových podmínek (str. 48) vychází v tabulce Tab. 20 hodnoty pro řádek  $Q_1$ .

Tab. 20 – Měrná potřeba tepla na vytápění

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>Q<sub>T</sub> (kWh)</b>	2671	2277	2044	1444	840	473	251	263	789	1467	2039	2571	Σ
<b>Q<sub>V</sub> (kWh)</b>	718	612	550	388	226	127	67	71	212	395	548	691	
<b>Q<sub>I</sub> (kWh)</b>	3390	2889	2594	1833	1066	601	318	334	1001	1862	2587	3262	
<b>Q<sub>i</sub> (kWh)</b>	283	255	283	274	283	274	283	283	274	283	274	283	
<b>Q<sub>s</sub> (kWh)</b>	413	676	1164	1683	1983	1972	1908	1888	1303	1016	518	334	
<b>Q<sub>g</sub> (kWh)</b>	696	931	1447	1957	2265	2246	2191	2171	1577	1298	792	617	
<b>η</b>	99,8	99,3	97,2	88,5	65,1	42,2	23,1	22,9	72,2	93,9	99,2	99,8	
<b>Q<sub>h</sub> (kWh)</b>	2695	1964	1188	101	0	0	0	0	0	643	1802	2647	11040

Zde v tabulce Tab. 20 se nachází mimo jiné tepelná ztráta  $Q_I$ , o které jsem psal výše a také hodnoty tepelného zisku  $Q_g$  v neposlední řadě je nejdůležitější výpočet a to potřeba tepla za rok. K tomuto výsledku se dospělo po sečtení všech potřeb tepla  $Q_h$  v daných měsících. Roční potřeba tepla na vytápění činí  $Q_h = 11\,040 \text{ kWh/rok}$  a po přepočtu na celkovou energeticky vztažnou plochu ( $A_E = 191,03 \text{ m}^2$ ) činí měrná potřeba tepla  $57,66 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$ .

Všechny výpočty, které byly provedeny, budou níže vzorově předvedeny pro zvolený měsíc Leden. Začneme tepelnou ztrátou:

$$Q_1 = Q_T + Q_V = \frac{[H_T \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t]}{3,6 \cdot 10^6} + \frac{[H_V \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t]}{3,6 \cdot 10^6} \quad (\text{kWh}) \quad (5.21)$$

$$Q_1 = \frac{[168,6 \cdot (20 - (-1,3)) \cdot 744 \cdot 3600]}{3,6 \cdot 10^6} + \frac{[45,34 \cdot (20 - (-1,3)) \cdot 744 \cdot 3600]}{3,6 \cdot 10^6} = 2671 + 718 = 3390 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}} \quad (5.22)$$

Pokračujeme tepelným ziskem. Ten se skládá ze součtu tepelných zisků vnitřních a solárních. Výpočet vypadá takto:

$$Q_g = Q_i + Q_s = \frac{\Phi_i \cdot A_p \cdot t}{3,6 \cdot 10^6} + A_{sol} \cdot G_m \quad (5.23)$$

$$Q_g = \frac{1,99 \cdot 191,03 \cdot 744 \cdot 3600}{3,6 \cdot 10^6} + 23,04 \cdot 17,94 = 283 + 413 = 696 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}} \quad (5.24)$$

Jelikož ve výše uvedeném vztahu 5.23 byl uveden parametr vnitřních tepelných zisků  $\Phi_i = 1,99 \text{ W/m}^2$  je potřeba rozepsat jak se k dané hodnotě došlo. Do vnitřních tepelných zisků se započítává metabolické teplo od osob a teplo uvolňované od vytápěného prostoru provozem domácích spotřebičů a umělého osvětlení. Pozor, ale nezahrnuje se sem energie potřebná na provoz domovní techniky. Tedy pro dům o celkové ploše vytápěné části  $A_p = 191,03 \text{ m}^2$  (z Tab. 16) uvažujeme, že uvolněné teplo od osob a provozem domácích spotřebičů je rovno  $100 \text{ W}$  na přítomnou osobu, bez ohledu na její věk. K tomu se připočítává  $100 \text{ W}$  na každou bytovou jednotku stálé produkce tepla bez ohledu na přítomnost osob. Dále se předpokládá, že osoby jsou přítomny po 70 % doby v roce. Koeficient přítomnosti se tedy uvažuje hodnotnou 0,7. Vše ohledně vnitřních tepelných zisků vychází z TNI 73 0329.

Hodnota  $A_{sol}$  je pouhý součet všech skleněných výplní z tabulky Tab. 1. V poslední řadě je potřeba určit aritmetický průměr globálního slunečního záření v daném měsíci  $G_m = 17,94 \text{ kWh/m}^2$ .

Na závěr už jen zbývá dopočítat celkovou potřebu tepla a to tak, že nejprve spočítáme potřebu tepla v daném měsíci a následně uděláme součet všech potřeb tepla. Tím dostaneme celkovou potřebu tepla za rok. Výpočet vypadá následovně:

$$Q_h = Q_1 - \eta \cdot Q_g = 3390 - 0,998 \cdot 696 = 2\,695 \frac{kWh}{m\acute{e}s\acute{ic}} \quad (5.25)$$

$$Q_{hRok} = \sum Q_h = 11\,040 \frac{kWh}{rok} \quad (5.26)$$

Tímto výpočtem jsme se dostali na závěr kapitoly 5.3.5 a lze konstatovat, že celkové potřebné teplo na vytápění zvoleného rodinného domu za rok vychází přibližně na  $Q_{hRok} = 11\,040 \text{ kWh/rok}$ .

## 5.4 Energie potřebná pro přípravu TUV

Za účelem výpočtu energie pro teplou užitkovou vodu jsem použil program z internetových stránek [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz).

### Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody

<b>Lokalita (Tabulka)</b> Město: <input type="text" value="Vsetín"/> Délka topného období: <input type="text" value="236"/> [dny] Venkovní výpočtová teplota $t_e = -15$ °C Prům. teplota během otopného období $t_{es} = 3.6$ °C	
<input type="checkbox"/> <b>Vytápění</b> Tepelná ztráta objektu $Q_c =$ <input type="text"/> kW Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} =$ <input type="text"/> °C ??? Vytápěcí denostupně $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 3870 \text{ K.dny}$ Opravné součinitele a účinnosti systému $e_i =$ <input type="text"/> ??? $\eta_o =$ <input type="text"/> ??? $e_t =$ <input type="text"/> ??? $\eta_r =$ <input type="text"/> ??? $e_d =$ <input type="text"/> ??? Opravný součinitel $\epsilon$ ??? <input checked="" type="radio"/> $\epsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0.765$ <input type="radio"/> $\epsilon =$ <input type="text"/> $Q_{VYT,r} = \frac{\epsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$ $Q_{VYT,r} =$ <input type="text"/> 0 GJ/rok <input type="text"/> 0 MWh/rok <b>Náklady</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Ohřev teplé vody</b> $t_1 =$ <input type="text" value="10"/> °C ??? $p =$ <input type="text" value="1000"/> kg/m³ ??? $t_2 =$ <input type="text" value="60"/> °C ??? $c =$ <input type="text" value="4186"/> J/kgK ??? $V_{2p} =$ <input type="text" value="0.328"/> m³/den ??? Koeficient energetických ztrát systému $z =$ <input type="text" value="0.5"/> ??? Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody $Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{p \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 28.6 \text{ kWh}$ Teplota studené vody v létě $t_{svl} =$ <input type="text" value="15"/> °C Teplota studené vody v zimě $t_{svz} =$ <input type="text" value="5"/> °C Počet pracovních dní soustavy v roce $N =$ <input type="text" value="365"/> [dny] $Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$ $Q_{TUV,r} =$ <input type="text"/> 33 GJ/rok <input type="text"/> 9.2 MWh/rok <b>Náklady</b>
<b>Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody</b> $Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} =$ <input type="text"/> <b>33 GJ/rok</b> <input type="text"/> <b>9.2 MWh/rok</b> <b>Náklady</b>	

Obr. 31 – Výpočet energie pro přípravu TUV programem z [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)

V tomto programu je vše přehledně uspořádáno a každý parametr je okomentovaný s možností výběru nápovědy, která se skrývá pod třemi otazníky. V této nápovědě můžeme nalézt vysvětlení, co určený parametr znamená a také doporučené rozmezí v jakém by se měl volit. Z programu se využije pouze pravá (modrá) část, která slouží pro výpočet TUV.

Pro dosažení správného výsledku je potřeba do programu zadat několik vstupních informací. Nejdříve je potřeba nastavit lokalitu, kde se budova nachází – v mém případě je to město Vsetín, které je vzdáleno 15 km od vesnice, v níž se nachází zvolený dům. Zvolení města nám automaticky vnese do programu další hodnoty a to hodnotu  $d = 236$  dnů (délka topného období) a  $t_{es} = 3,6$  °C (prům. teplota během otopného období). Vše se také odvíjí od parametru  $t_{em}$  (střední denní venkovní teplota pro začátek a konec otopného období) ta je automaticky nastavena na 13 °C.

V další řadě je potřeba nastavit teploty studené vody značenu  $t_1$  a teplé ohřáté vody  $t_2$ . V mém případě se teplota studené vody nemění a zůstává tak na 10 °C. Mění se pouze teplota ohřáté vody a to ze základních 55 °C na 60 °C jelikož se teplota odvíjí od hodnoty, která je nastavena na bojleru. Dále se pokračuje hodnotou  $V_{2p}$  která udává celkovou potřebu teplé vody za 1 den ( $m^3$ /den). Tato hodnota se vypočítá tak, že se stanoví 0,082  $m^3$ /den na jednu osobu a vynásobí čtyřmi. Jelikož se ve zvoleném domě nachází 4 osoby. Tudíž celková potřeba tepla za 1 den pro 4 osoby činí 0,328  $m^3$ /den. Za další se v programu nachází koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody. Pro rozvody v nových stavbách je  $z = 0,5$ . K dokončení výpočtu schází pouze měrná hmotnost vody a měrná tepelná kapacita. Obě tyto hodnoty jsou v programu zapsány automaticky. [13]

Výpočet tedy vypadá následovně:

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad (5.27)$$

$$Q_{TUV,d} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,328 \cdot (60 - 10)}{3600} = 28,6 \text{ kWh}$$

Posledním výpočtem této podkapitoly je výpočet roční potřeby tepla pro ohřev TUV. Mezi základní okrajové podmínky patří již zmiňovaná délka otopného období a teplota studené vody. Tu rozdělujeme na teplotu studené vody v létě  $t_{svl} = 15$  °C a v zimě  $t_{svz} = 5$  °C. Soustava pro ohřev TUV pracuje celý rok tudíž  $N = 365$  dnů. Výsledný výpočet vypadá takto:

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) \quad (5.28)$$

$$Q_{TUV,r} = 28,6 \cdot 236 + 0,8 \cdot 28,6 \cdot \frac{60 - 15}{60 - 5} \cdot (365 - 236) = 9\,164 \text{ kWh/rok}$$

Ve vztahu 5.28 se počítá s číslem 0,8. Tento součinitel vyjadřuje snížení spotřeby teplé užitkové vody v letním období oproti zimnímu.

Celková roční potřeba energie na ohřev teplé vody pro 4 osoby je  $Q_{TUV,r} = 9\,164 \text{ kWh/rok}$ .

### 5.5 El. energie pro osvětlení a el. spotřebiče

Celková spotřebovaná elektrická energie vychází z faktury, kterou dodala majitelka domu. Jelikož se v objektu nachází spousta spotřebičů a světelných zdrojů je tato cesta také nejsnazší. Faktura, ze které jsou odečteny hodnoty je za uplynulé fakturační období 10.7. 2014 – 13.7. 2015.

$$Q_{el,r} = 7\,899\text{ kWh} \quad (5.29)$$

### 5.6 Celková energie spotřebovaná řešeným domem

V následující kapitole je sumarizována energie, kterou řešený objekt spotřebuje na vytápění, teplou vodu a elektrické spotřebiče.

*Tab. 21 – Energie spotřebovaná za rok*

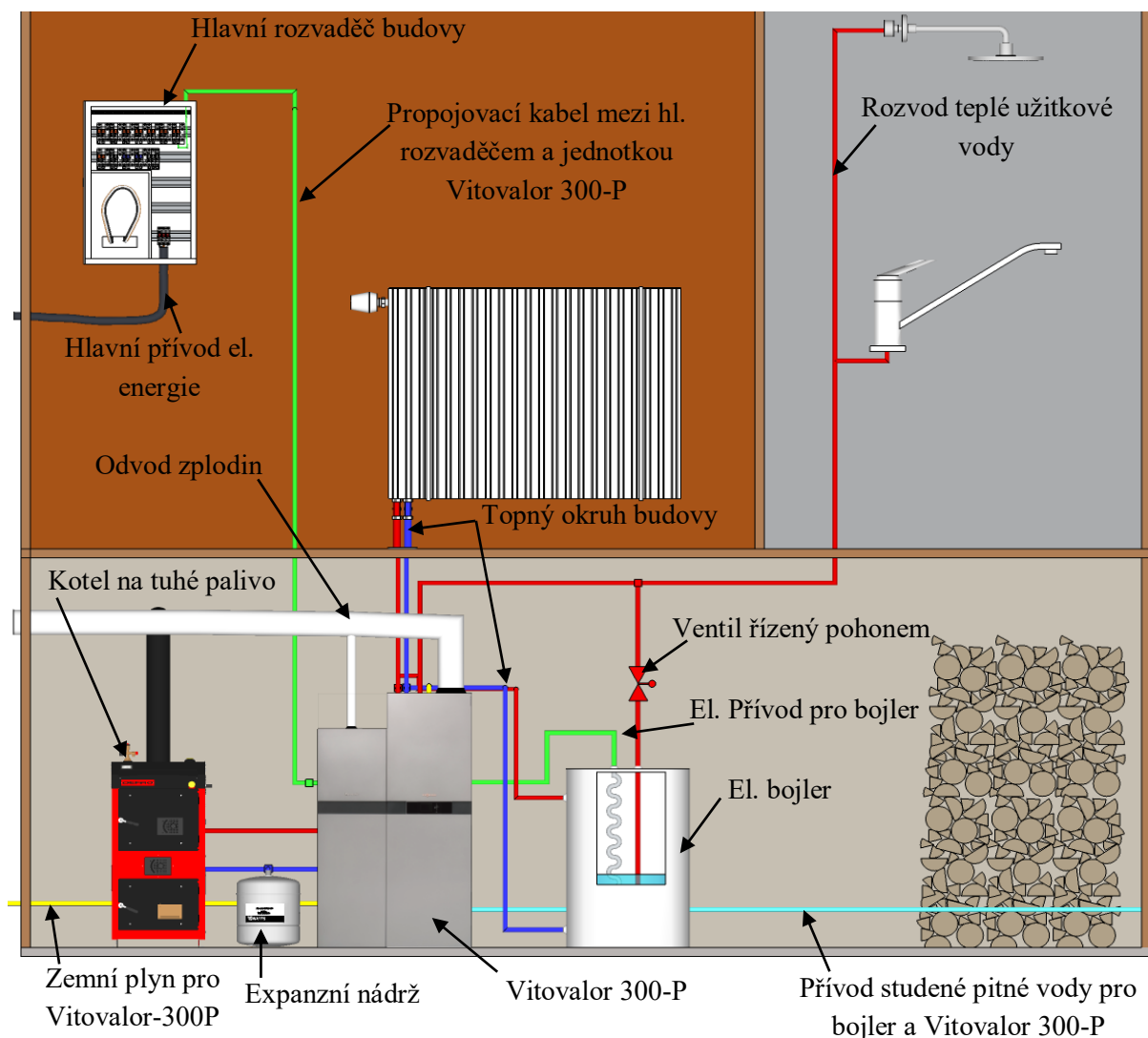
Spotřebovaná energie	Počet jednotek
Vytápění	11 040 kWh
TUV	9 164 kWh
Elektrická	7 899 kWh

## 6 Návrh systému s palivočlánkovou mikrokogenerační jednotkou pro pokrytí elektřiny a tepla

### 6.1 Způsob zapojení mikrokogenerační jednotky pro ohřev TUV a přitápění

V řešeném domě je již zabudované starší litinové teplovodní topení. Nevýhodou tohoto topení je velký objem vody, který se musí ohřívat, což je při použití plynového kondenzačního kotle, který je u jednotky Vitovalor-300P neekonomické. Proto, aby byla dosažena co nejvyšší účinnost, je potřeba investovat do nových deskových otopných těles. V tomto případě zatím majitelka neuvažuje o této investici.

Velkou výhodou jednotky Vitovalor-300P je integrovaný zásobník pro teplou vodu o velikosti 170 l. Tato nádrž je vyhřívána ze dvou zdrojů. Buď z tepla, které vytvořil palivový článek (1 kW) anebo z kondenzačního plynového kotle (19 kW). Plynový kotel zde slouží k pokrytí špiček. Uváděný dům má také kotel na tuhé palivo, který slouží jako hlavní zdroj tepla.



Obr. 32 – Schéma zapojení tepelného a elektrického okruhu

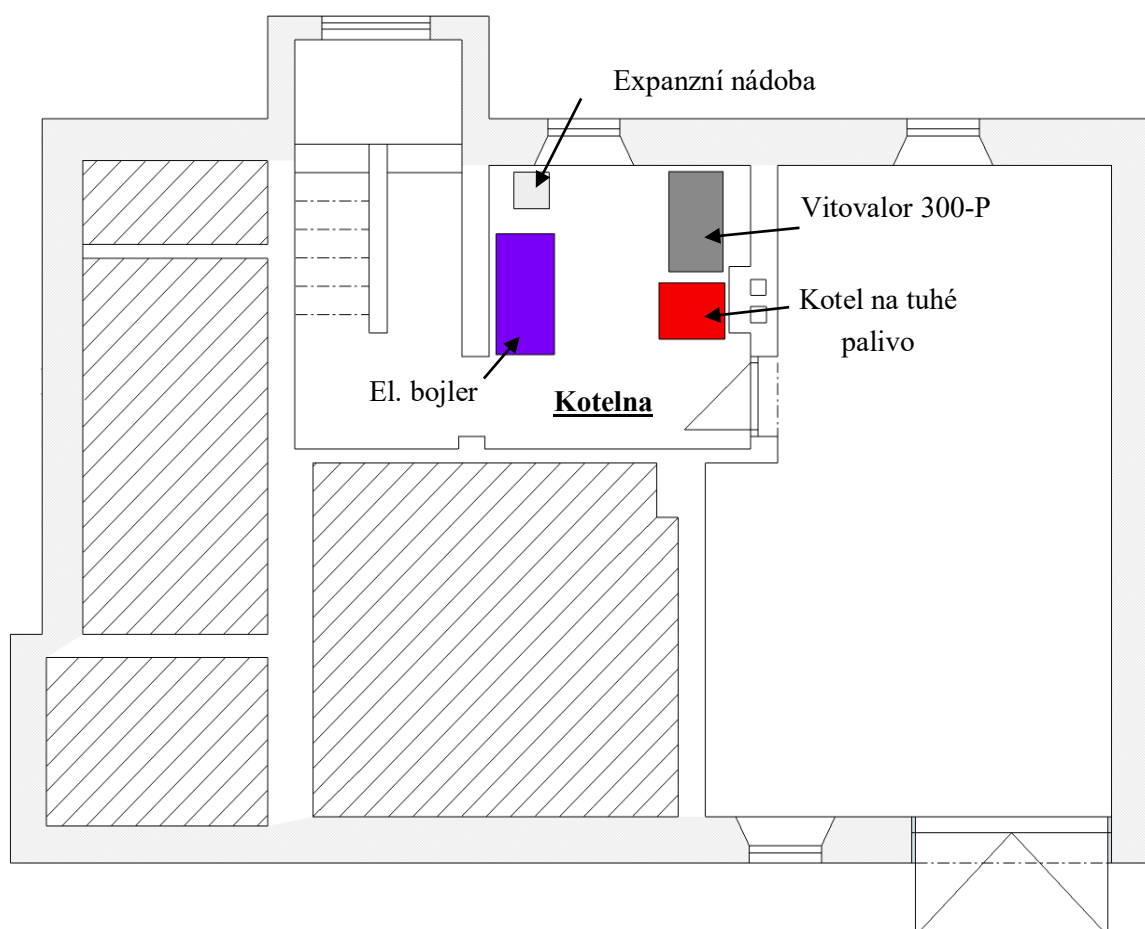
Z hlediska TUV mikrokogenerační jednotka také vybavena vlastní nádrží o objemu 46 l a odpadají tak výdaje na akumulační nádrž. Zásobník na TUV je také vytápěn jak z tepla produkovaného palivovým článkem tak z tepla kondenzačního plynového kotle. Kotel se spouští tehdy pokud je potřeba velkého množství teplé vody během krátké chvíle.

V domě se pro potřebu TUV nachází el. bojler o objemu 152 l. Výkon topného tělesa v bojleru je až 2 kW a celkový výkon výměníku je 10,3 kW. Bojler je zároveň napojen na topný okruh, který slouží pro ohřívání TUV v zimních měsících. Jelikož se převážně topí na teplotu 60°C odečítanou přímo z kotle, zapíná se elektrické topné těleso jen v případě, že se netopí. Tento bojler by po montáži mikrokogenerační jednotky byl využíván jen v krajních případech a ve špičkách.

Na Obr. 32 je naznačeno schéma zapojení tepelného a elektrického okruhu po instalaci Vitovaloru 300-P. Další pohledy na zapojení jsou uvedeny v příloze (jedná se o přílohu E a D).

## 6.2 Způsob zapojení mikrokogenerační jednotky v řešeném domě

Mikrokogenerační jednotka se po domluvě s majitelkou domu bude nacházet v místnosti, kde je i kotel na tuhé palivo tedy v kotelně. V této místnosti je i starý elektrický kotel, který už není prakticky vůbec využíván. Proto se tu nabízí i řešení, kam jednotku v místnosti umístit. Starý elektrický kotel se odstraní a nahradí se mikrokogenerační jednotkou a tím pádem odpadne i starost s připojením do otopného okruhu.



Obr. 33 – Rozmístění v kotelně řešeného objektu

V kotelně se nachází také rozvaděč, který sloužil k připojení elektrického kotle, ten by mohl být využit pro připojení jednotky za účelem vlastní spotřeby el. energie jednotkou.

V této místnosti je také počítáno s plynovou přípojkou, která zatím není dokončena. Pro úspěšné připojení mikrokogenerační jednotky je potřeba tuto přípojku dokončit. Jednalo by se o výkopové práce a pokládku plynového potrubí. Vzdálenost od hlavního uzávěru plynu, který se nachází na hranici pozemku, činí asi 20 m.

Elektrickou energii, kterou jednotka vyprodukuje, bude potřeba vést do hlavního rozvaděče v místnosti 101 (zádvěří). Zde by měl být cejchovaný elektroměr pro odpočet vyrobené energie z kogenerační jednotky. Celý tento okruh bude připojen na samostatný jistič a sítovou ochranu. Jednotka bude připojena za hlavní elektroměr (z pohledu distribuční sítě), je teda možné dodávat energii jak spotřebičům v objektu a zároveň tak šetřit náklady na odebíranou elektřinu nebo ji v případě přebytků přes hlavní čtyřkvadrantní elektroměr předávat do sítě. Také by zde měl být nainstalován centrální regulátor, který bude propojen s mikrokogenerační jednotkou a bude tak řídit spolupráci jednotky, kotle na tuhé palivo a el. bojleru.

Vitocalor-300P je vybaven vlastními čidly a ovládací jednotkou s panelem pro nastavení jednotlivých parametrů. Nabízí se tu i možnost dálkového ovládání z chytrého mobilního telefonu pomocí aplikace Vitotrol. Kdy se stačí pouze připojit k internetu a mít doma instalováno zařízení jménem Vitocom 100. Toto zařízení zprostředkovává komunikaci s kogeneračními jednotkami Vitocalor a umožňuje změnu parametru i když majitel není zrovna doma.



## 7 Ekonomické zhodnocení

### 7.1 Ekonomická náročnost původního stavu domu

V této podkapitole bude nejprve provedeno ekonomické zhodnocení pro původní stav domu. Ohřev teplé užitkové vody je v domě zajištěno el. ohřívačem vody OKCV 160 firmy Dražice s účinností 95 % a ohřev otopné vody kotlem na tuhé palivo. Kotel je od firmy Dakon a nese označení FB 32D a převážně se v něm topí černým uhlím. Podle technických specifikací kotel pracuje s účinností ~ 80 %. [15,18]

Následně se vypočítá tepelné energie dodávaná palivovým článkem a kondenzačním kotlem. Dále se vyhodnotí ušetřené finance za tepelnou energii při využívání kogenerační jednotky.

#### 7.1.1 Roční náklady na provoz el. bojleru:

Z kapitoly 5.6 v tabulce Tab. 21 je vidět, že roční spotřeba energie na přípravu TUV je 9 164 kWh. Tuto hodnotu je potřeba rozdělit na energii tepelnou, která ohřívá TUV v zimním období (což činí 5 346 kWh) a elektrickou, která ohřívá TUV v letním období 3 818 kWh. Cena elektrické energie spotřebovaná bojlerem je zahrnuta ve faktuře za celkovou spotřebovanou elektřinu. Elektřinu dodává ČEZ Prodej, s.r.o, se kterým je sjednaná smlouva na tarif resp. obchodní produkt Comfort. Sazba je stanovena na D45d jelikož se v domě nachází el. topení a el. ohřívač vody. V této sazbě platí 20 h denně nízký tarif (NT) a je předpokládáno, že bojler je v době platnosti vysokého tarifu (VT) blokován a tedy při vyúčtování jeho spotřeby se uplatní pouze ceny platné pro NT. Všechny informace k výpočtu jsou k nalezení na internetových stránkách skupiny ČEZ, nebo přímo ve faktuře za dodanou elektřinu. [19]

Tab. 22 – Spotřebovaná el. energie

<b>Množství elektřiny spotřebované celkově (MWh)</b>	3,818
<b>z toho ve vysokém tarifu (MWh)</b>	0,000
<b>z toho v nízkém tarifu (MWh)</b>	3,818
<b>Doba ocenění elektřiny (měsíců)</b>	12,129

Tab. 23 – Ceny el. energie zadané

<b>Pevná cena za měsíc (Kč/měs.)</b>	60,00
<b>Cena za silovou elektřinu - VT (Kč/MWh)</b>	1 448,00
<b>Cena za silovou elektřinu - NT (Kč/MWh)</b>	1 261,00
<b>Pevná cena za jistič (Kč/měs.)</b>	300,00
<b>Cena za distribuci elektřiny - VT (Kč/MWh)</b>	249,98
<b>Cena za distribuci elektřiny - NT (Kč/MWh)</b>	36,94
<b>Cena za systémové služby (Kč/MWh)</b>	105,27
<b>Cena na podporu el. z OZE, KVET (Kč/MWh)</b>	495,00
<b>Cena za činnost zúčtování OTE (Kč/MWh)</b>	6,94
<b>Daň z elektřiny (Kč/MWh)</b>	28,30
<b>DPH pro rok 2015 (%)</b>	21

V tabulce Tab. 23 jsou žlutě označeny ceny (neregulované) z ceníku společnosti ČEZ (pro produkt Comfort) a modře ceny (regulované) dle cenových rozhodnutí ERÚ č. 3/2014 a č. 2/2014.

Tab. 24 – Ceny el. energie vypočítané

<b>Pevná cena (Kč)</b>	727,74
<b>Cena za silovou elektřinu - VT (Kč)</b>	0,00
<b>Cena za silovou elektřinu - NT (Kč)</b>	4 814,50
<b>Pevná cena za jistič (Kč)</b>	3 638,70
<b>Cena za distribuci elektřiny - VT (Kč)</b>	0,00
<b>Cena za distribuci elektřiny - NT (Kč)</b>	141,04
<b>Cena za systémové služby (Kč)</b>	401,92
<b>Cena na podporu el. z OZE, KVET (Kč)</b>	1 889,91
<b>Cena za činnost zúčtování OTE (Kč)</b>	26,50
<b>Daň z elektřiny (Kč)</b>	108,05

Tabulka výše uvádí vypočítané jednotlivé služby. Pro výpočty bylo využito těchto vztahů:

$$\begin{aligned} \text{Pevná cena} &= \text{Pevná cena za měsíc} \cdot \text{Doba ocenění elektřiny} & (7.1) \\ \text{Pevná cena} &= 60 \cdot 12,129 = 727,74 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cena za silovou el. - NT} &= \text{Cena za silovou el. - NT} \cdot \text{Množství el. spotřebované v NT} & (7.2) \\ \text{Cena za silovou el. - NT} &= 1261 \cdot 3,818 = 4 814,50 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pevná cena za jistič} &= \text{Pevná cena za jistič} \cdot \text{Doba ocenění elektřiny} & (7.3) \\ \text{Pevná cena za jistič} &= 300 \cdot 12,129 = 3 638,70 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cena za distribuci el. - NT} &= \text{Cena za distribuci el. - NT} \cdot \text{Množství el. spotřebované v NT} & (7.4) \\ \text{Cena za distribuci el. - NT} &= 36,94 \cdot 3,818 = 141,04 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cena za systémové služby} &= \text{Cena za systémové služby} \cdot \text{Množství el. spotřebované celkově} & (7.5) \\ \text{Cena za systémové služby} &= 105,27 \cdot 3,818 = 401,92 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cena na podporu el. z OZE} &= \text{Cena na podporu el. z OZE} \cdot \text{Množství el. spotřebované celkově} & (7.6) \\ \text{Cena na podporu el. z OZE, KVET} &= 495 \cdot 3,818 = 1 889,91 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cena za činnost zúčtování} &= \text{Cena za činnost zúčtování} \cdot \text{Množství el. spotřebované celkově} & (7.8) \\ \text{Cena za činnost zúčtování OTE} &= 6,94 \cdot 3,818 = 26,50 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daň z elektřiny} &= \text{Daň z elektřiny} \cdot \text{Množství el. spotřebované celkově} & (7.9) \\ \text{Daň z elektřiny} &= 28,30 \cdot 3,818 = 108,05 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Tab. 25 – Celková cena (platba) za elektřinu spotřebovanou bojlerem

<b>Celková cena za elektřinu bez DPH (Kč)</b>	<b>11 748,35</b>
<b>Celková cena za elektřinu s DPH (Kč)</b>	<b>14 215,51</b>
<b>DPH (Kč)</b>	<b>2 467,15</b>

Celková cena za el. energii spotřebovanou bojlerem během pěti letních měsíců, kdy se TUV ohřívá výhradně elektřinou je 14 216 Kč.

### 7.1.2 Roční náklady za elektrickou energii spotřebovanou el. spotřebiči a svítidly

Celková spotřebovaná el. energie je rovna 7 899 kWh/rok. Zde je již zahrnuta i energie na TUV (3 818 kWh/rok). Tudíž zbývá jen dopočítat cenu za 4 081 kWh, která se spotřebovala elektrickými spotřebiči. Podle faktury, kterou poskytla majitelka domu, vychází cena za 7,899 MWh na 24 014 Kč s DPH. Od této částky se odečte cena za elektřinu spotřebovanou bojlerem (14 216 Kč) a tím dostaneme cenu za elektrickou energii spotřebovanou el. spotřebiči a svítidly. Výpočet vypadá následovně:

$$Cena\ el.\ energie(spot.) = Cena\ el\ energie\ celková - Cena\ el.\ energie(bojler) \quad (7.10)$$

$$Cena\ el.\ energie(spotřebiče) = 24014 - 14215,51 = 9\,798,49\ Kč$$

### 7.1.3 Roční náklady na provoz kotle na tuhé palivo:

Roční spotřeba tepelné energie pro vytápění je podle tabulky Tab. 21  $Q_{hRok} = 11\,040$  kWh, k této hodnotě je nutné připočítat tepelnou energii potřebnou na ohřev TUV během zimních měsíců (5 346 kWh). Pro výpočet nákladu na černé uhlí je potřeba převést potřebnou energii z kWh na MJ, protože výhřevnost uhlí se udává v MJ/t a cena Kč/t. Tedy 16 386 kWh je 58 990 MJ. Výpočet nákladů vypadá takto:

$$N_K = \frac{Q_{hRok} + Q_{TUV,zima}}{\eta_K \cdot Q_i} \cdot cp = \frac{39744 + 19246}{0,8 \cdot 30,19} \cdot 5,1 = 12\,456\ Kč/rok \quad (7.11)$$

Kde:

$N_K$  – roční náklady na vytápění kotlem na tuhé palivo (Kč/rok)

$Q_{hRo}$  – roční spotřeba energie na vytápění (MJ)

$\eta_K$  – účinnost kotle (-)

$Q_i$  – výhřevnost uhlí (černé uhlí = 30,19 MJ/kg)

$cp$  – cena černého uhlí (510 Kč/q = 5,1 Kč/kg)

## 7.2 Ekonomická náročnost domu po instalaci kogenerační jednotky

Tepelnou energii, kterou je schopna jednotka dodat je 20 kW. Budeme uvažovat, že jednotka poběží nepřetržitě 16h denně po celý rok, aby bylo dosaženo garantovaných 60 000 provozních hodin. Podle informací od firmy Viessmann palivový článek sám o sobě spotřebuje cca. 0,25 m<sup>3</sup>/h zemního plynu na výrobu 750 W elektřiny a 1 kW tepla. Při plném zatížení, tedy i s kondenzačním kotlem, je spotřeba zemního plynu 3,23 m<sup>3</sup>/h

### 7.2.1 Roční náklady na výrobu TUV, elektřiny a přitápění s kogenerační jednotkou

Výpočet tepelné energie vyrobené palivovým článkem:

$$Q_{KJ,Pč} = P_{Pč} \cdot \tau_{rok} = 1 \cdot 5840 = 5840 \text{ kWh/rok} \quad (7.12)$$

Kde:

$Q_{KJ,Pč}$  – tepelná energie palivového článku za rok (kWh/rok)

$P_{Pč}$  – tepelný výkon palivového článku (kW)

$\tau_{rok}$  – počet hodin za rok (při provozu 16 h denně)

Výpočet tepelné energie vyrobené plynovým kondenzačním kotlem za rok při plném zatížení:

$$Q_{KJ,Ko,r} = P_{Ko} \cdot \tau_{rok} = 19 \cdot 5840 = 110960 \text{ kWh/rok} \quad (7.13)$$

Kde:

$Q_{KJ,Ko,r}$  – tepelná energie plynového kondenzačního kotle za rok při plném zatížení (kWh/rok)

$P_{Ko}$  – tepelný výkon plynového kondenzačního kotle (kW)

$\tau_{rok}$  – počet hodin za rok (při provozu 16 h denně)

Výpočet potřebné tepelné energie vyrobené plynovým kondenzačním kotlem:

$$Q_{KJ,Ko} = (Q_{TUV,r} + Q_{hROK}) - Q_{KJ,Pč} = (9164 + 11040) - 5840 = 14364 \text{ kWh/rok} \quad (7.14)$$

Kde:

$Q_{KJ,Ko}$  – potřebná tepelná energie vyrobené kondenzačním kotlem za rok (kWh/rok)

$Q_{TUV,r}$  – celková roční potřeba energie na ohřev teplé vody (kWh/rok)

$Q_{hROK}$  – celkové roční potřeba energie na vytápění domu (kWh/rok)

$Q_{KJ,Pč}$  – tepelný výkon palivového článku za rok (kWh/rok)

Výpočet elektrické energie vyrobené palivovým článkem:

$$Q_{KJ,el} = P_{el} \cdot \tau_{rok} = 0,750 \cdot 5840 = 4\,380 \text{ kWh/rok} \quad (7.15)$$

Kde:

$Q_{KJ,el}$  – množství elektrické energie vyrobené palivovým článkem za rok (kWh/rok)

$P_{el}$  – elektrický výkon palivového článku (kW)

$\tau_{rok}$  – počet hodin za rok (při provozu 16 h denně)

Výpočet roční spotřeby plynu palivovým článkem:

$$V_{P\check{c}} = \tau_{rok} \cdot M_{pal,P\check{c}} = 5840 \cdot 0,25 = 1460 \text{ m}^3 = 15\,403 \text{ kWh/rok} \quad (7.16)$$

Kde:

$V_{P\check{c}}$  – množství plynu spotřebovaného za rok palivovým článkem (m<sup>3</sup>/rok nebo kWh/rok)

$\tau_{rok}$  – počet hodin za rok (při provozu 16 h denně)

$M_{pal,P\check{c}}$  – spotřeba zemního plynu palivovým článkem za hodinu (m<sup>3</sup>/hod)

Výpočet roční spotřeby plynu kondenzačním kotlem:

$$V_{Ko} = \frac{Q_{KJ,Ko}}{P_{Ko}} \cdot M_{pal,Ko} = \frac{14364}{19} \cdot 2,98 = 2253 \text{ m}^3 = 23\,769 \text{ kWh/rok} \quad (7.17)$$

Kde:

$V_{Ko}$  – množství plynu spotřebovaného za rok kondenzačním kotlem (m<sup>3</sup>/rok nebo kWh/rok)

$Q_{KJ,Ko}$  – potřebná tepelná energie vyrobené kondenzačním kotlem za rok (kWh/rok)

$P_{Ko}$  – tepelný výkon plynového kondenzačního kotle (kW)

$M_{pal,Ko}$  – spotřeba zemního plynu kondenzačním kotlem za hodinu (m<sup>3</sup>/hod)

Výpočet roční spotřeby plynu celkem:

$$V_{PL} = V_{P\check{c}} + V_{Ko} = 15403 + 23769 = 39\,172 \text{ kWh/rok} \quad (7.18)$$

Kde:

$V_{PL}$  – množství plynu spotřebovaného za rok celkem (kWh/rok)

$V_{Ko}$  – množství plynu spotřebovaného za rok kondenzačním kotlem (kWh/rok)

$V_{P\check{c}}$  – množství plynu spotřebovaného za rok palivovým článkem (kWh/rok)

Tab. 26 – Spotřeba plynu kogenerační jednotkou za rok

Množství spotřebovaného plynu celkově	
v (m <sup>3</sup> )	3 713,000
v (MWh)	39,172

Tab. 27 – Regulovaná část ceny plynu

Popis položky	Množství	Měrná jednotka	Jednotková cena bez DPH (Kč)	Celkem bez DPH (Kč)
Pevná cena za odebraný plyn	39,172	MWh	171,05	6 700,40
Stálá měsíční platba za přistavenou kapacitu	12	měsíc	195,33	2 343,96
Poplatek OTE	39,172	MWh	2,62	102,63
Celkem				<b>9 146,99</b>

V tabulce Tab 27. se nachází rozepsaná regulovaná část ceny plynu. Tyto poplatky stanovuje Energetický regulační úřad a distributor je nemůže ovlivnit. Jedná se o cenové rozhodnutí ERÚ č. 4/2014.

Dále se cena plynu skládá z druhé části a to z neregulované části viz Tab. 28. Tuto část už může dodavatel ovlivnit. Například slevy a akce se počítají jen z této části ceny.[19]

Tab. 28 – Neregulovaná část ceny plynu

Popis položky	Množství	Měrná jednotka	Jednotková cena bez DPH (Kč)	Celkem bez DPH (Kč)
Komoditní složka ceny	39,172	MWh	550	21 544,60
Měsíční poplatek za odběrné místo	12	měsíc	49	588
Celkem				<b>22 132,60</b>

Tab. 29 – Celková cena (platba) za spotřebovaný plyn

Dodávka plynu	Základ DPH (Kč)	DPH (Kč)	Celkem (Kč)
Cena za distribuci plynu	9 146,99	19 20,87	11 067,86
Obchod s plynem	22 132,60	4 647,85	26 780,45
<b>Celkem</b>	<b>31 279,59</b>	<b>6 568,72</b>	<b>37 848,31</b>

Celková tepelná energie, kterou jednotka dokáže poskytnout je 116 800 kWh/rok. Tato energie pokrývá celoroční poptávku tepelné energie rodinného domu i s celkovou energií potřebnou na ohřev TUV. Palivový článek má dostatečný výkon i na pokrytí spotřeby el. energie domu v případě, že se nebude využívat bojler pro primární ohřev vody. Dokáže se tak ušetřit na elektřině za teplou užitkovou vodu 14 216 Kč/rok, elektrické energii využívané pro el. spotřebiče a svítidla 9 799 Kč a černé uhlí 12 456 Kč/rok. Výhodou jednotky Vitovalor-300P je automatické ovládání plynového kondenzačního kotle, který je regulován podle potřeby. Tudiž palivový článek může pracovat plných 16h denně a kotel bude vykřívát jen špičky a zbylé potřebné teplo což činí 14 364 kWh/rok. Celková tepelná energie, kterou jednotka vyprodukuje za rok je rovna 20 204 kWh a elektrické energie vyprodukuje během roku 4 380 kWh.

Pro stanovení ceny plynu, který využívá kogenerační jednotka, jako palivo je potřeba vypočítat zvlášť roční spotřebu plynu palivovým článkem a kondenzačním plynovým kotlem. Tyto výpočty jsou vidět ve vzorcích 7.16 a 7.17. Celkový součet roční spotřeby plynu se dále přepočítal kalkulátorem cen energií ze stránek <http://kalkulator.tzb-info.cz/>. Kalkulátor je projektem internetového portálu TZB-info, jehož značka garantuje kvalitu a aktuálnost poskytovaných informací. Na této stránce se po vybrání bydliště a vložení množství spotřebovaného plynu zobrazí možnost zvolit si vhodný tarif u různých společností, které nabízí plyn.

Nejvýhodnější nabídka se jevila od společnosti Czech Energy s tarifem respektive produktem Plyník24. Jednotlivé části ceny za spotřebovaný plyn se nacházejí v tabulkách Tab. 27 (regulovaná část) a Tab. 28 (neregulovaná část). Výsledná cena za spotřebování 39,172 MWh je 37 848 Kč včetně DPH. [20]

### 7.3 Celkové ekonomické zhodnocení

V této podkapitole je zpracovaný celkový finanční posudek z hlediska úspory a pořízení kogenerační jednotky Vitovalor-300P a jejím ročním provozu.

Výpočet celkové roční úspory za tepelnou a elektrickou energii:

$$U_{TE} = N_k + \text{Cena el. energie celková} = 12456 + 24014 = 36\,470 \text{ Kč} \quad (7.19)$$

Kde:

$U_{TE}$  – roční úspora za tepelnou a elektrickou energii (Kč)

$N_k$  – roční náklady na vytápění kotlem na tuhé palivo (Kč/rok)

Pro výpočet ročního příspěvku (zelený bonus) na elektřinu z KVET (kombinovaná výroba elektřiny a tepla) je potřeba určit základní a doplňkovou sazbu. Tyto sazby lze nalézt v cenovém rozhodnutí ERÚ č. 9/2015. V tabulkách na obrázcích Obr. 34, 35 lze vidět tyto sazby. Výpočet se provede pomocí tohoto vztahu: [21]

$$P_{ZB} = Q_{KJ,el} \cdot (\text{Základní sazba ZB} + \text{Doplňková sazba ZB}) \quad (7.20)$$

$$P_{ZB} = 4,380 \cdot (740 + 455) = 5\,234,1 \text{ Kč/rok}$$

Kde:

$P_{ZB}$  – roční příspěvek na elektřinu z kombinované výroby elektřiny a tepla tzv. zelený bonus (Kč/rok)

$Q_{KJ,el}$  – množství elektrické energie vyrobené palivovým článkem za rok (MWh/rok)

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
	a	b	c	d	e	j	m
700	Elektřina z KVET s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	200	3 000	1 580
701		-	31.12.2015	0	200	4 400	1 115
702		-	31.12.2015	0	200	8 400	215
703		-	31.12.2015	200	1 000	3 000	1 140
704		-	31.12.2015	200	1 000	4 400	740
705		-	31.12.2015	200	1 000	8 400	135
706		-	31.12.2015	1 000	5 000	3 000	800
707		-	31.12.2015	1 000	5 000	4 400	470
708		-	31.12.2015	1 000	5 000	8 400	45
709	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	5 000	8 400	45

Obr. 34 – Základní sazba ZB

r./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Kategorie biomasy a proces využití	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
	a	b	c	d	e	k	m
770	Výroba elektřiny spalující čistou biomasu	1.1.2013	31.12.2013	0	5000	O	100
771		1.1.2014	31.12.2015	0	5000	O	455
772	Výroba elektřiny spalující (samostatně) plyn ze zplyňování pevné biomasy	1.1.2013	31.12.2013	0	2500	O	455
773		1.1.2014	31.12.2015	0	2500	O	755
774	Výroba elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici	1.1.2013	31.12.2013	0	2500	AF	455
775	Výroba elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici splňující podmínku bodu (3.4.2.)	1.1.2014	31.12.2015	0	2500	AF	900
776	Nová výroba elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici splňující podmínku bodu (3.4.3.)	1.1.2014	31.12.2015	0	550	AF	900
777	Výroba elektřiny spalující dříví plyn	1.1.2013	31.12.2015	0	5000	-	455
778	Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	-	31.12.2012	0	5000	-	155
779	Výroba elektřiny spalující (samostatně) zemní plyn	-	31.12.2015	0	5000	-	455

Obr. 35 – Doplnková sazba ZB

Výpočet celkové úspory i se zeleným bonusem:

$$C_{\text{úspora}} = U_{TE} + P_{ZB} = 36470 + 5234 = 41\,704 \text{ Kč/rok} \quad (7.21)$$

Kde:

$C_{\text{úspora}}$  – roční celková úspora za tepelnou energii, elektrickou energii a připočítaný zelený bonus (Kč/rok)

$U_{TE}$  – roční úspora za tepelnou a elektrickou energii (Kč/rok)

$P_{ZB}$  – roční příspěvek na elektřinu z kombinované výroby elektřiny a tepla tzv. zelený bonus (Kč/rok)

Výpočet peněžního toku tzv. cash flow se provede tak, že se vezme částka, která se ušetří za provoz KJ během roku a od ní se odečte částka, kterou KJ vyžaduje na provoz (za plyn).

$$C_f = C_{\text{úspora}} - \text{Celková cena za spotřebovaný plyn} \quad (7.22)$$

$$C_f = 41704 - 37848,31 = 3\,855,69 \text{ Kč/rok}$$

Kde:

$C_f$  – peněžní tok tzv. cash flow (Kč/rok)

$C_{\text{úspora}}$  – roční celková úspora za tepelnou energii, elektrickou energii a připočítaný zelený bonus (Kč/rok)

Cash flow v tomto případě vyšel kladný, což znamená, že se během roku provozu kogenerační jednotky Vitovalor-300P ušetří odhadem 3 855,69 Kč. V tabulce Tab. 30 se nachází celkový součet



počátečních investic, které je potřeba vynaložit na zprovoznění KJ. Pro výpočet doby návratnosti je použit jednoduchý vzorec, ve kterém podělíme celkové počáteční investice peněžním tokem.

Tab. 30 – Počáteční investice

<b>Vitovvalor 300-P</b>	810 600 Kč <sup>1</sup>
<b>Elektroměr, kabely, vodovodní potrubí</b>	9 000 Kč
<b>Výkopové práce – dokončení plynové přípojky</b>	800 Kč
<b>Celkem – I<sub>n</sub></b>	820 400 Kč

Výpočet doby návratnosti:

$$T_n = \frac{I_n}{C_f} = \frac{820400}{3855,69} = 213 \text{ let} \quad (7.23)$$

Kde:

$T_n$  – prostá doba návratnosti bez uvažování časové hodnoty peněz (let)

$C_f$  – peněžní tok tzv. cash flow (Kč/rok)

$I_n$  – celková počáteční investice (Kč)

Z výsledného výpočtu je patrné, že výsledná doba návratnosti je příliš vysoká a prakticky nenávratná jelikož přesahuje životnost KJ je tudíž nutné ji snížit. Dobu návratnosti snižuje několik faktorů. Jedním z nich je snížení ceny jednotky. Jelikož se zatím Vitovvalor 300-P nedostal na trh, je jeho cena pouze orientační a může tak dojít k poklesu. Dalším faktorem je cena plynu. Tento faktor je různý u každého uživatele, jelikož je na trhu spousta prodejců zemního plynu a každý si tak může zvolit takového, aby mu vyhovoval.

<sup>1</sup> Kurz eura podle ČNB ze dne 18. 04. 16 – 1 EUR = 27,020 Kč

Zdroj: <[https://www.cnb.cz/cs/financni\\_trhy/devizovy\\_trh/kurzy\\_devizoveho\\_trhu/denni\\_kurz.jsp](https://www.cnb.cz/cs/financni_trhy/devizovy_trh/kurzy_devizoveho_trhu/denni_kurz.jsp)>

## 8 Závěr

Diplomová práce se zabývá kogeneračními technologiemi na bázi palivových článků, jako zdroje pro obytné domy. V první kapitole byly rozebrány jednotlivé druhy palivových článků a podrobně popsány jejich vlastnosti. Kapitola 2. se zabývala některými vybranými kogeneračními jednotkami, které se nacházejí na trhu nebo se na trh teprve dostanou.

V další části byla z daných parametrů objektu vypočítána energetická bilance, tedy velikost celkové tepelné ztráty domu, která je 9 012 W z toho energie na vytápění, která činila 11 040 kWh/rok a energie potřebná pro ohřev teplé užitkové vody 9 164 kWh/rok. Tyto energie byly spočítány pro 4 osoby v objektu. Dále byla odečtena z faktury za el. energii celková spotřeba elektrické energie za rok, která činila 7 899 kWh/rok.

Jakmile byla známa energetická bilance budovy, tak byl v kapitole 6 navržen způsob zapojení kogenerační jednotky Vitocal-300P do stávajícího stavu budovy. Pro tyto účely byl zhotoven náčrtek a popsáno zapojení.

V kapitole 7 bylo provedeno ekonomické zhodnocení, kde se nejdříve vypočítaly náklady na provoz el. bojleru a náklady na spotřebovanou el. energii spotřebiči a svítidly. Celkové náklady na el. energii činily 24 014 Kč/rok. Poté následoval výpočet nákladů na provoz kotle na tuhé palivo. V kotli se převážně topí černým uhlím. Cena, kterou majitelka zaplatí za uhlí, se pohybuje kolem 12 456 Kč/rok.

Další částí této kapitoly byl výpočet ekonomické náročnosti domu po instalaci kogenerační jednotky. Zde se nejdříve vypočítala energie, kterou je kogenerační jednotka schopna dodat během 5840 hodin. Jednotka tak poběží 16 hodin denně, aby bylo dosaženo 60 000 garantovaných provozních hodin. Kogenerační jednotka Vitocal-300P využívá jako palivo zemní plyn. Aby bylo možné, spočítat kolik spotřebuje KJ plynu, bylo nutné kontaktovat firmu Viessmann. Ta udává spotřebu 0,25 m<sup>3</sup>/h pro palivový článek a 3,23 m<sup>3</sup>/h pro celkovou KJ i s kondenzačním plynovým kotlem při plném zatížení. Výsledná roční spotřeba plynu činí 39,172 MWh. Cena toho množství plynu od společnosti Czech Energy je 37 848,31 Kč.

Posledním krokem této práce bylo celkové ekonomické zhodnocení a zjištění návratnosti. Nemilým zjištěním však je, že kogenerační jednotka Vitocal-300P má tak vysoké počáteční investice a relativně krátkou životnost, že ji lze díky malým úsporám považovat za nenávratnou investici.

## Použitá literatura

- [1] Kürthy Marián, Palivový článek jako alternativní zdroj el. energie, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Brno, 2009
- [2] Gielen Dolf, Giorgio Simbolotti, Prospect for hydrogen and fuel cells, IEA Publications, France, 2005
- [3] Hrbáček Lukáš, Kogenerace s využitím palivových článků, Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství, Brno, 2008.
- [4] Sokanský Karel, Palivové články v energetice, VŠB-TUO, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ostrava, 2007
- [5] Porš Zdeněk, Palivové články, Ústav Jaderného Výzkumu ŘEŽ, a. s.: Divize jaderné bezpečnosti a energetiky, 2002 [online] [cit. 2015-26-11]  
Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>
- [6] Krbek J., Polesný B., Kogenerační jednotky – zřizování a provoz, 1. vydání Praha GAS s.r.o., Praha, 2007  
Dostupné z: [http://mpoefekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Kogeneracni\\_jednotky\\_zrizovani\\_provoz\\_2220047233.pdf](http://mpoefekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Kogeneracni_jednotky_zrizovani_provoz_2220047233.pdf)
- [7] Hexis Galileo 1000 N, [online] [2015-10-12]  
Dostupné z: <http://www.hexis.com/>
- [8] SOLIDpower BlueGen™, [online] [2015-10-12]  
Dostupné z: [http://www.solidpower.com/wpcontent/uploads/2014/02/SOLIDpower\\_BlueGEN\\_UK\\_web.pdf](http://www.solidpower.com/wpcontent/uploads/2014/02/SOLIDpower_BlueGEN_UK_web.pdf)
- [9] SOLIDpower EnGEN™-2000, [online] [2015-11-12]  
Dostupné z: [http://www.solidpower.com/wpcontent/uploads/2014/03/Data\\_Sheet\\_Engen2500\\_eng.pdf](http://www.solidpower.com/wpcontent/uploads/2014/03/Data_Sheet_Engen2500_eng.pdf)
- [10] Burderus Logapower FC10, [online] [2015-11-12]  
Dostupné z: [http://www.buderus.ch/files/FL\\_Brennstoffzelle\\_01\\_14\\_D\\_.pdf](http://www.buderus.ch/files/FL_Brennstoffzelle_01_14_D_.pdf)
- [11] Viessmann Vitovalor 300-P, [online] [2015-12-12]  
Dostupné z: [http://www.viessmann.com/com/content/dam/vi-corporate/COM/Press/14/Viessmann\\_combined\\_heat\\_and\\_power\\_generation\\_system.pdf/\\_jcr\\_content/renditions/original.media\\_file.download\\_attachment.file/Viessmann\\_combined\\_heat\\_and\\_power\\_generation\\_system.pdf](http://www.viessmann.com/com/content/dam/vi-corporate/COM/Press/14/Viessmann_combined_heat_and_power_generation_system.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/Viessmann_combined_heat_and_power_generation_system.pdf)

- [12] Rastočný J., Solární systémy pro obytné domy, VŠB-TUO, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ostrava, 2013
- [13] TOP-EL, [online] [2016-03-15]  
Dostupné z: <http://www.top-el.cz/vismo/dokumenty2.asp?id=1472>
- [14] TZB-info, [online] [2016-03-19]  
Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [15] České slunce, [online] [2016-4-4]  
Dostupné z: <http://www.ceskeslunce.cz/solarni-systemy.html>
- [16] DUFA kamna, s.r.o., [online] [2016-04-05]  
Dostupné z: <http://www.dufakamna.cz/dufa/goods-VFB113-6-litinovy-kotel-dakon-fb-32-d--6-cl.html>
- [17] Aktuell Viessman, [online] [2016-04-05]  
Dostupné z: [http://www.viessmann.rs/content/dam/internet\\_rs/Download/aktuell/aktuell\\_2014\\_01\\_GB.pdf](http://www.viessmann.rs/content/dam/internet_rs/Download/aktuell/aktuell_2014_01_GB.pdf)
- [18] Družstevní závody Dražice-strojírna, s.r.o., [online] [2016-04-08]  
Dostupné z: <http://www.dzd.cz/cs/ohrivace-vody-bojlery/kombinovane-ohrivace-vody/vodorovne>
- [19] Skupina ČEZ, [online] [2016-04-08]  
Dostupné z: <https://www.cez.cz>
- [20] Kalkulátor cen energií, [online] [2016-04-12]  
Dostupné z: <http://kalkulator.tzb-info.cz/>
- [21] Paděra J., Kogenerační jednotky pro domácí využití, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Brno, 2009
- [22] Energetický regulační úřad, [online] [2016-04-14]  
Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/>
- [23] Opluštil Marek, Mikrokogenerace- pro malé obytné objekty, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Brno, 2009

## Seznam obrázků

Obr. 1 – Transformace energie .....	- 12 -
Obr. 2 – Palivový článek $H_2O_2$ .....	- 12 -
Obr. 3 – Alkalický palivový článek (AFC) .....	- 14 -
Obr. 4 – Palivový článek na bázi kyseliny fosforečné (PAFC) .....	- 16 -
Obr. 5 – Palivový článek s polymerní elektrolytickou membránou (PEMFC).....	- 17 -
Obr. 6 – Palivový článek s přímým zpracováním metanolu (DMFC) .....	- 19 -
Obr. 7 – Základní koncepce MCFC s vnitřním reformingem.....	- 21 -
Obr. 8 – Vnější reforming .....	- 21 -
Obr. 9 – Vnitřní reforming .....	- 22 -
Obr. 10 – Palivový článek s elektrolytem na bázi roztavených uhličitánů (MCFC).....	- 23 -
Obr. 11 – Struktura anody a elektrolytu .....	- 24 -
Obr. 12 – Planární uspořádání .....	- 25 -
Obr. 13 – Trubkové uspořádání .....	- 25 -
Obr. 14 – HPD uspořádání .....	- 25 -
Obr. 15 – Palivový článek na bázi pevných oxidů (SOFC) – trubkový tvar .....	- 26 -
Obr. 16 – Schéma SOFC článku firmy Forschungszentrum .....	- 26 -
Obr. 17 – Schéma planárního uspořádání SOFC článku firmy Sulzer HEXIS .....	- 27 -
Obr. 18 – Planární uspořádání systému s SOFC článkem a možné způsoby řešení samonosného prvku článku .....	- 27 -
Obr. 19 – Vliv teploty na účinnost celého systému .....	- 28 -
Obr. 20 – Jednotka Galileo 1000N .....	- 30 -
Obr. 21 – Schéma generace tepla a elektřiny jednotkou Galileo 1000 N.....	- 30 -
Obr. 22 – Jednotka BlueGen <sup>TM</sup> .....	- 31 -
Obr. 23 – Modul palivového článku BlueGen <sup>TM</sup> .....	- 32 -
Obr. 24 – Popis jednotky BlueGen <sup>TM</sup> (1 – modul s palivovými články, 2 – Integrované zásobníky na vodu, 3 – Integrované čištění plynu, 4 – Úprava výstupního el. proudu.....	- 32 -
Obr. 25 – Jednotka EnGen <sup>TM</sup> -2000 .....	- 33 -
Obr. 26 – Jednotka Logapower FC10 .....	- 33 -
Obr. 27 – Jednotka Vitovál 300-P .....	- 35 -
Obr. 28 – Fotografie řešeného rodinného domu .....	- 36 -
Obr. 29 – Energetická bilance domu.....	- 37 -
Obr. 30 – Půdorys 1.NP s vyznačením výplní otvorů a neprůsvitných konstrukcí .....	- 45 -
Obr. 31 – Výpočet energie pro přípravu TUV programem z <a href="http://www.tzb-info.cz">www.tzb-info.cz</a> .....	- 51 -
Obr. 32 – Schéma zapojení tepelného a elektrického okruhu.....	- 54 -
Obr. 33 – Rozmístění v kotelně řešeného objektu .....	- 55 -
Obr. 34 – Základní sazba ZB.....	- 63 -
Obr. 35 – Doplnková sazba ZB .....	- 64 -

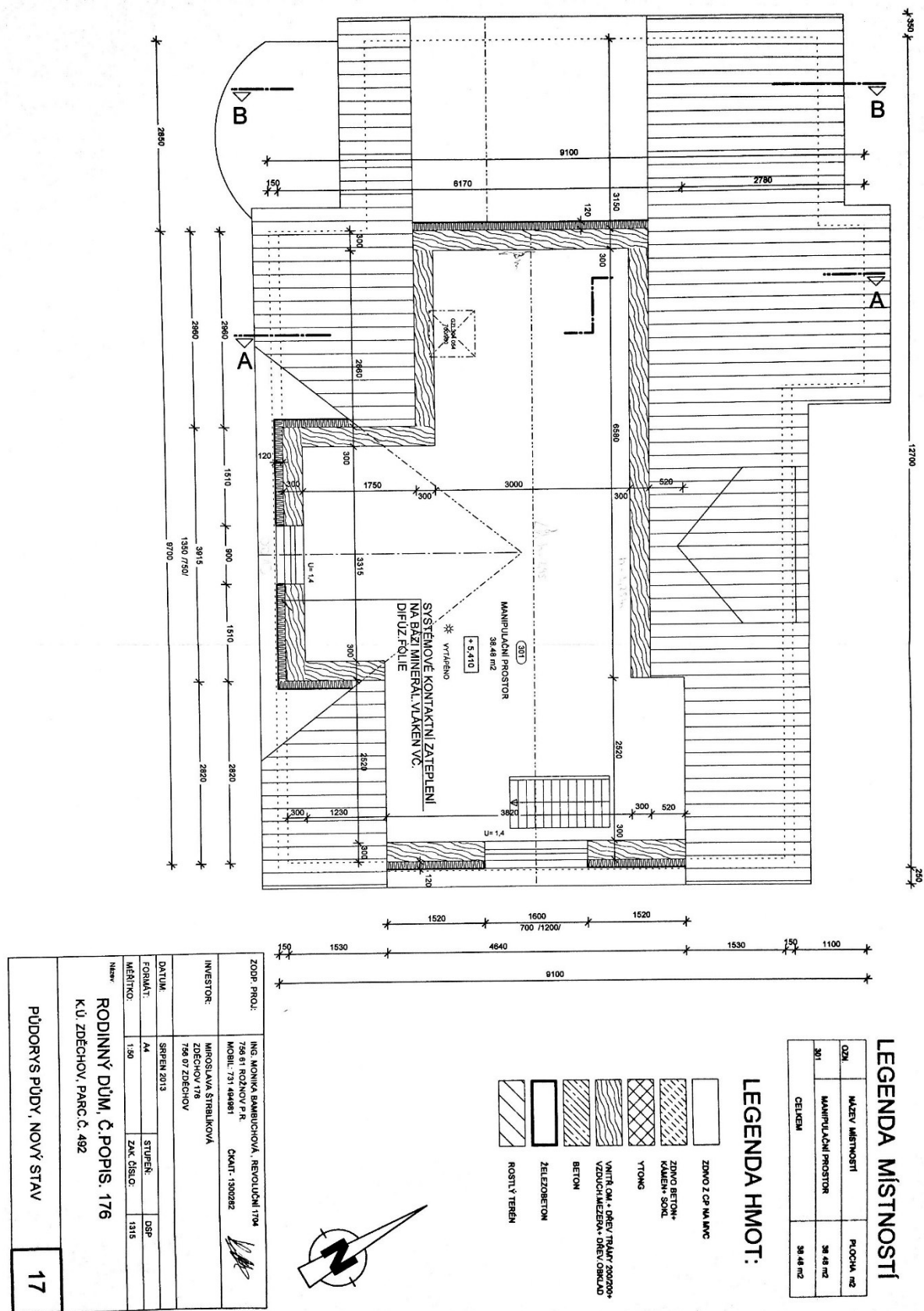
## Seznam tabulek

Tab. 1 – Výhody a nevýhody alkalických článků (AFC).....	14 -
Tab. 2 – Výhody a nevýhody palivových článků (PAFC) .....	16 -
Tab. 3 – Výhody a nevýhody palivových článků (PEMFC) .....	18 -
Tab. 4 – Výhody a nevýhody palivových článků (MCFC) .....	22 -
Tab. 5 – Výhody a nevýhody palivových článků (SOFC) .....	28 -
Tab. 6 – Parametry jednotky Galileo 1000 N .....	31 -
Tab. 7 – Parametry jednotky BlueGen <sup>TM</sup> .....	32 -
Tab. 8 – Parametry jednotky EnGen <sup>TM</sup> -2000 .....	33 -
Tab. 9 – Parametry jednotky Logapower FC10.....	34 -
Tab. 10 – Parametry jednotky Vitovalor 300-P.....	35 -
Tab. 11 – Vlastnosti výplní otvorů pláště budovy .....	41 -
Tab. 12 – Parametry neprůsvitné konstrukce .....	42 -
Tab. 13 – Parametry neprůsvitné konstrukce .....	43 -
Tab. 14 – Parametry neprůsvitné konstrukce .....	44 -
Tab. 15 – Měrná tepelná ztráta místnosti – Ložnice (110).....	46 -
Tab. 16 – Tepelné ztráty všech místností .....	47 -
Tab. 17 – Okrajové podmínky podle TNI 73 0331:2013 .....	48 -
Tab. 18 – Měsíční hodnoty globálního slunečního záření podle TNI 73 0331:2013 .....	48 -
Tab. 19 – Obvodová hranice budovy .....	49 -
Tab. 20 – Měrná potřeba tepla na vytápění .....	50 -
Tab. 21 – Energie spotřebovaná za rok .....	53 -
Tab. 22 – Spotřebovaná el. energie.....	57 -
Tab. 23 – Ceny el. energie zadané .....	57 -
Tab. 24 – Ceny el. energie vypočítané.....	58 -
Tab. 25 – Celková cena (platba) za elektřinu spotřebovanou bojlerem .....	58 -
Tab. 26 – Spotřeba plynu kogenerační jednotkou za rok .....	61 -
Tab. 27 – Regulovaná část ceny plynu.....	62 -
Tab. 28 – Neregulovaná část ceny plynu .....	62 -
Tab. 29 – Celková cena (platba) za spotřebovaný plyn .....	62 -
Tab. 30 – Počáteční investice .....	65 -

## Seznam příloh

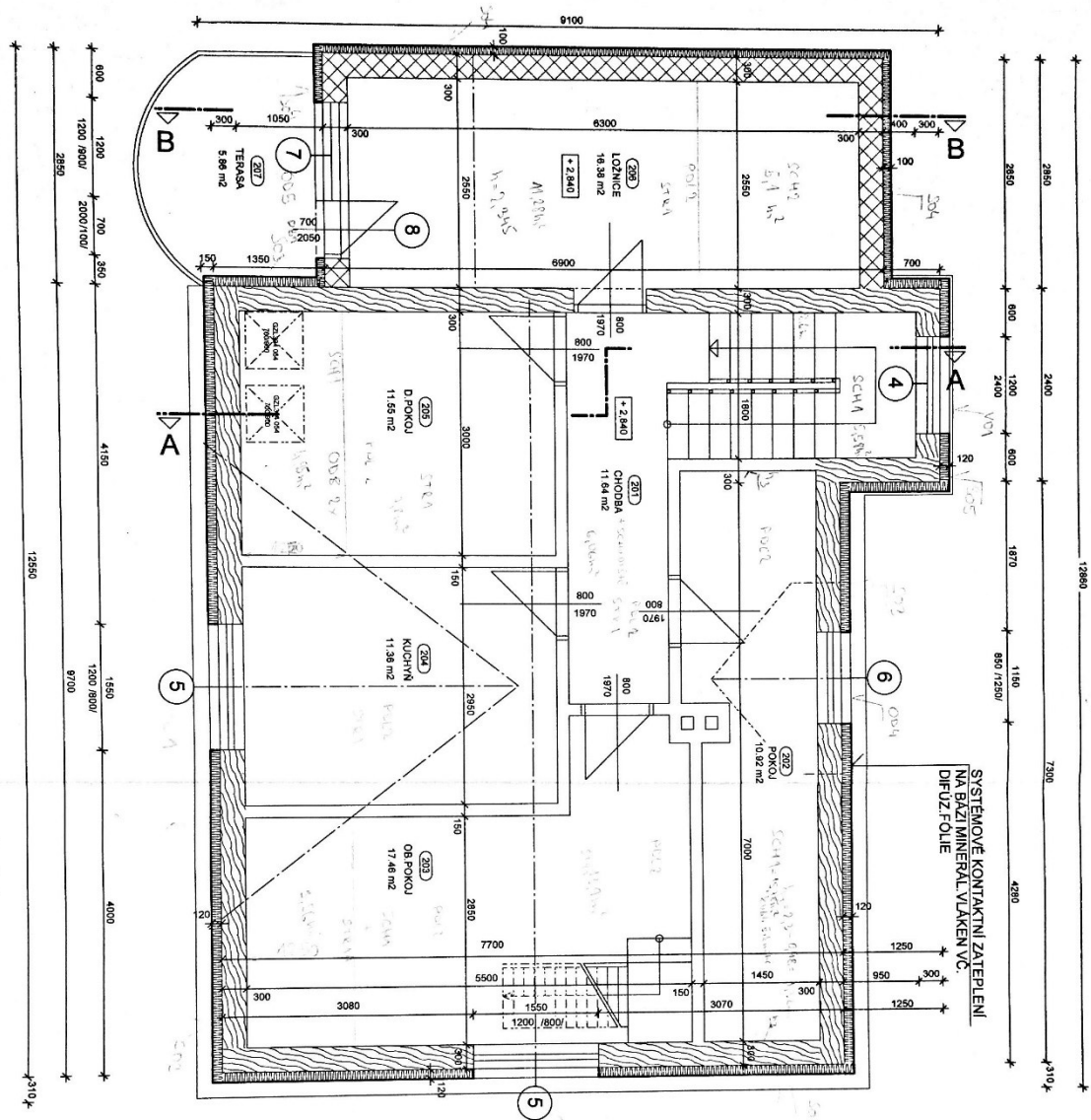
Příloha A: Půdorys půdy .....	I
Příloha B: Půdorys 2. NP .....	II
Příloha C: Půdorys 1. PP .....	III
Příloha D: Pohled na zapojení elektrické a otopné soustavy .....	IV
Příloha E: Pohled na zapojení elektrické a otopné soustavy (2. pohled).....	IV

Příloha A: Půdorys půdy





Příloha B: Půdorys 2. NP



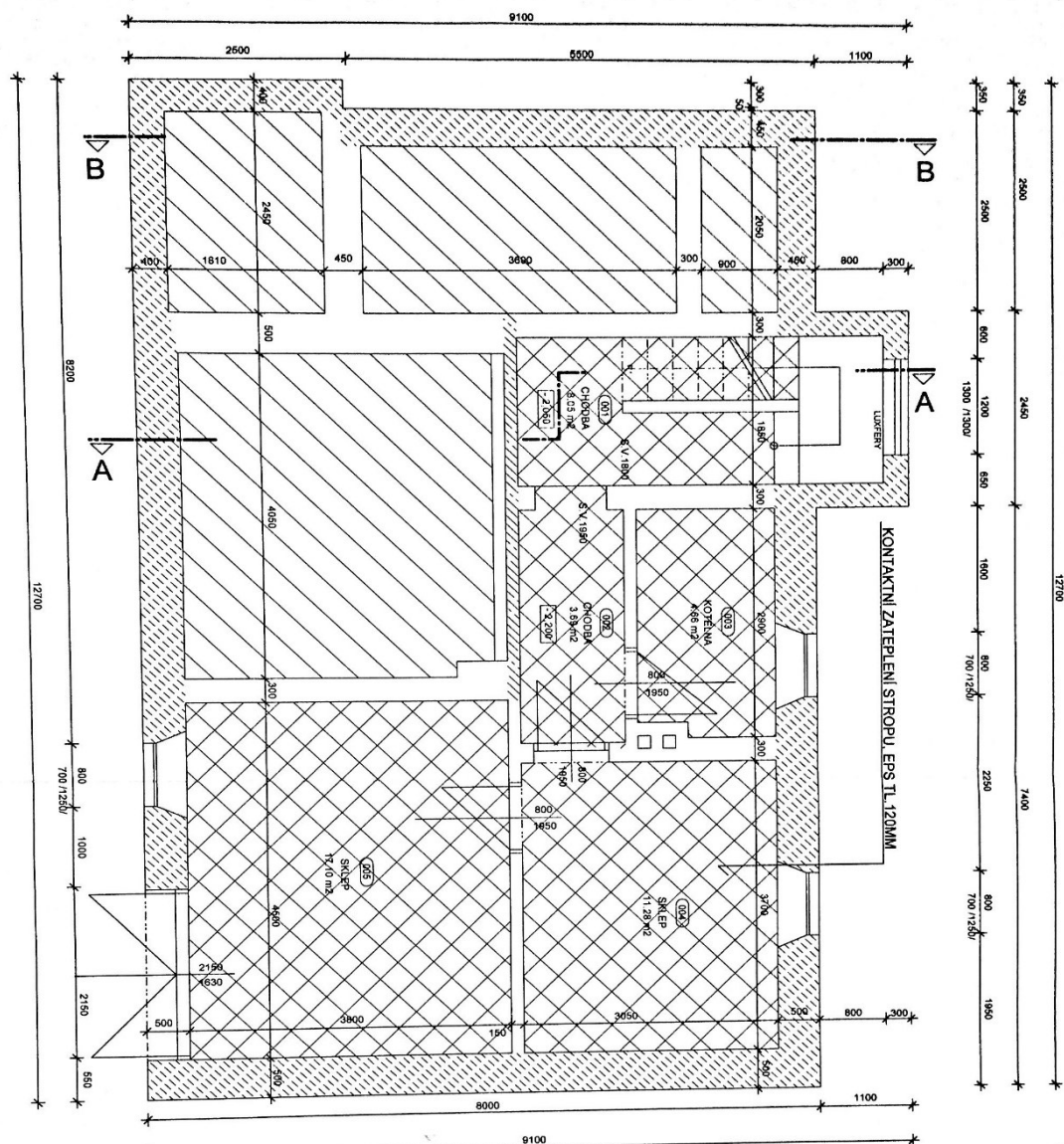
LEGENDA MÍSTNOSTÍ

OZN.	NÁZEV MÍSTNOSTI	PLOCHA m <sup>2</sup>
201	CHODBA	11.54 m <sup>2</sup>
202	POKOJ	10.92 m <sup>2</sup>
203	OB. POKOJ	17.46 m <sup>2</sup>
204	KUCHYŇ	11.96 m <sup>2</sup>
205	DĚTSKÝ POKOJ	11.55 m <sup>2</sup>
206	LOŽNICE	16.38 m <sup>2</sup>
207	TERASA	5.66 m <sup>2</sup>
208	CELKEM	94.99 m <sup>2</sup>

LEGENDA HMOT:








[Symbol]	ZDNO Z CP NA MNC
[Symbol]	ZDNO BETON + KAMEN + SOUL
[Symbol]	YTONG
[Symbol]	VNITŘ. CM + DŘEV. TRÁVY 200/200 + VZDUCH MEZERA - DŘEV. OKLAD
[Symbol]	BETON
[Symbol]	ŽELEZOBETON
[Symbol]	ROSTLÝ TERÉN


ZODP. PROJ.	ING. MONIKA BAMBACHOVÁ, REVOLUČNÍ TRÁ		
INVESTOR:	MROSLAVA ŠTRAILKOVÁ		
DATUM:	SRPEN 2013	STUPEŇ:	OSP
FUNKCE:	1.50	ZAK. ČÍSLO:	1315
NÁZEV:	RODINNÝ DŮM, Č. POPIS. 176 K.Ú. ZDĚCHOV, PARC.Č. 492		
PŮDORYS 2.NP, NOVÝ STAV			16



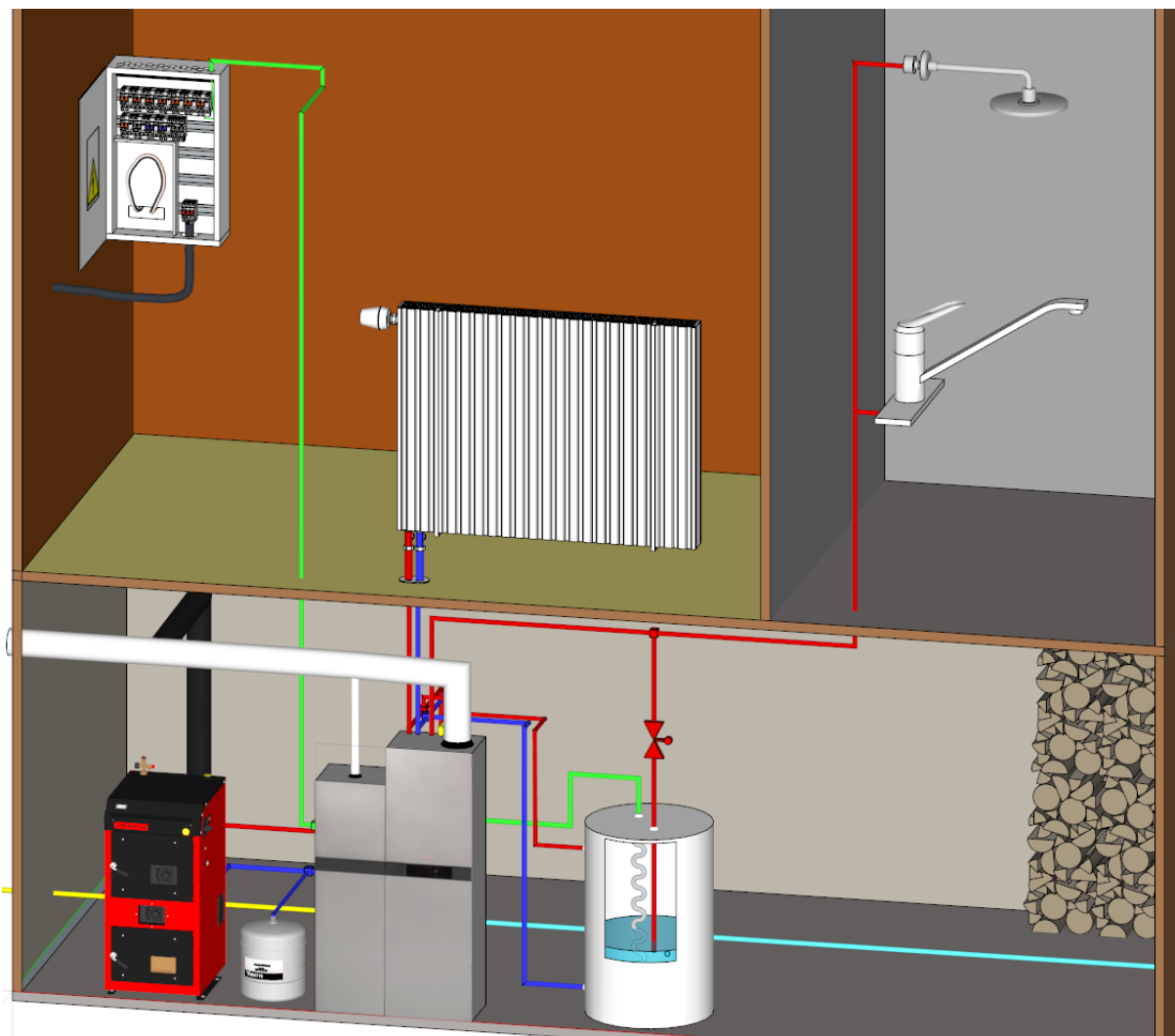
QZM	MAZEJ VARNOSTI	PROČNA m2
001	CHOĐA	8 65 m2
002	CHOĐA	3 89 m2
003	KOTELJNA	4 89 m2
004	SKLEP	11 28 m2
005	SKLEP	17 10 m2
	CELIKEM	44 78 m2

**LEGENDA HMOT:**

						
ROSTLY TERFEN	ZELEBETON	BETON	VARTI OM + DREY TRÁNY 200/200+ VZDUCH MEZERA+ DREY OBKLAD	VTONG	ZDNO BETON+ PÁNEV+ SOKL	ZDNO Z CP MAJANC

ZODP. PRILO	ING. JOVANA BAMBACHOVÁ, REVOUCHOV 1704 758 6 ROŽNOV P. R. MOBIL. 731 044681			ČKAT. 1300282	
INVESTOR:	MIRKO SLAVKA ŠTRÁLKOVÁ ZDĚCHOV 176 756 07 ZDĚCHOV				
DATUM:	SPLEN 2013				
FORMÁT:	A4	STUPEŇ:	OSP		
MĚŘÍTKO:	1:50	ZAK. ČÍSLO:	1316		
NABÝV:	RODINNÝ DŮM, Č. POPIS. 176 K.Ú. ZDĚCHOV, PARC.Č. 492				
PŮDORYS 1. PP, NOVÝ STAV <div style="float: right; font-size: 2em; font-weight: bold;">14</div>					

*Příloha D:* Pohled na zapojení elektrické a otopné soustavy



*Příloha E:* Pohled na zapojení elektrické a otopné soustavy (2. pohled)

